



Universidade de Aveiro Departamento de Química

2013

**João Maria Lopes da Cunha Cappelle
Teixeira**

**Estudos de índice glicémico de
variedades de arroz**



**Universidade de
Aveiro**

2013

Departamento de Química

**João Maria Lopes da
Cunha Cappelle
Teixeira**

**Estudos de índice glicémico de
variedades de arroz**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Bioquímica, ramo de Bioquímica alimentar, realizada sob a orientação científica da Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo, Professora Associada com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro, e co – orientação do Dr. Diogo Barbosa Amorim de Lemos, Responsável pela direção do Departamento de Qualidade da empresa NOVARROZ.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Manuel António Coimbra R. da Silva
Professor associado com agregação do Departamento de
Química da Universidade de Aveiro

Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva
Investigador auxiliar do Departamento de Química da
Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo
Professora associada com agregação do Departamento de
Química da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradece a Dr^a Ivonne Delgadillo pelo entusiasmo que transmitia sempre que abordámos novas pistas para o desenvolvimento desta tese, de facto a motivação crescia e o gosto pela descoberta também. Agrandecendo também por toda a orientação e tempo dispendido.

A todo o pessoal do laboratório que me auxiliou e que perderam tempo comigo pondo de parte os seu interesses e dando prioridade aos meus.

Ao Diogo Lemos, por ter ajudado a arrancar este projeto de parceria entre a Universidade de Aveiro e a NOVARROZ, projeto que espero que continue e dê resultados cada vez melhores. Pelo seu esforço e dedicação e sobretudo pela sua amizade. À empresa NOVARROZ, e a todo o pessoal da empresa, pela oportunidade destes estágio e pela ótima receção no local de trabalho.

E por fim, agradecer a toda a minha família e amigos por todo o apoio e força que me deram ao longo deste percurso.

palavras-chave

índice glicémico, arroz, amido, cinética de hidrólise, conteúdo de amilose

resumo

Com o aumento da frequência de doenças associadas à dieta, na sociedade, surge então, a preocupação de tentar atenuar problemas que possam advir do consumo de alimentos com alto teor de hidratos de carbono, e com alto índice glicémico, como por exemplo o arroz. O arroz é constituído maioritariamente por hidratos de carbono (75 a 80%). O índice glicémico do arroz é influenciado principalmente pela sua composição química, nomeadamente pelo teor e características do amido. O arroz que registou o índice glicémico mais baixo foi o da variedade Carnise, obtendo um valor de 72,75, e a amostra que obteve o valor mais alto foi a variedade Ariete, registando 150,84. Neste estudo verificou-se que diferentes fatores podiam surtir influência nos valores de índice glicémico. Verificou-se que a amilose estava negativamente correlacionada com o aumento do índice glicémico e que, portanto, arroz com teor de amilose mais alto registaram índices glicémicos mais baixos. Outros fatores também mostraram ter influência no valor de índice glicémico, nomeadamente, o tempo de cozedura, a absorção de água e também o processamento térmico da vaporização.

keywords

glycemic index, rice, starch, hydrolysis kinetics, amylose content

Abstract

With the increase of the appearance of diet related diseases, then, rises the necessity of trying to mitigate problems that might arise from the consumption of foods that are rich in carbohydrates, and high glycemic index, such as rice. Rice is composed mainly of carbohydrates (75-80%). The glycemic index of the rice is mainly influenced by its chemical composition, particularly by the content and characteristics of the starch. The variety that showed lowest GI was Carnise, obtaining 72,75 and the Ariete variety obtained the highest value, of 150,84. On this study we verified that different factors affect directly the GI values. The amylose content is negatively correlated with the glycaemic index increase, which means that rice with high amylose content obtained smaller glycaemic indexes. Other factors show to have an influence on the glycaemic index value, namely cooking time, water absorption and some thermic treatments, such as parboiling, as well.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Distúrbios alimentares	3
1.2. Índice Glicémico	3
1.3. O Arroz	5
1.3.1. Origem do arroz	6
1.3.2. Morfologia da planta	8
1.3.3. Morfologia do grão de arroz	9
1.4. Produção e processamento industrial de arroz	10
1.4.1. Secagem do arroz	11
1.4.2. Vaporização do arroz	12
1.4.3. Processamento Industrial	12
1.5. Composição do arroz	15
1.6. Amido	18
1.6.1. Amido: o componente principal	18
1.6.2. Formação e variabilidade do amido	18
1.6.3. Estrutura do amido	20
1.6.4. Digestão do amido	22
1.6.5. Retrogradação do amido	23
2. Objetivos do estudo	25
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Amostras	31
3.2. Preparação das amostras	32
3.3. Análise do teor de amilose	33
3.3.1. Preparação das amostras	33
3.3.2. Preparação da solução de iodo	33
3.3.3. Preparação da solução teste	33
3.3.4. Amostras usadas para calibração	34
3.3.5. Determinação do conteúdo de amilose	34
3.4. Análise do conteúdo de amido total	34
3.5. Cinética <i>in vitro</i> da digestão do amido e estimativa do índice glicémico	35
3.6. Tempo de cozedura (TC)	36
3.7. Teor de humidade	36
3.8. Brancura Total (BT) e Área Gessada (AG)	37

3.9.	Absorção de Água (AbA).....	37
4.	Resultados e Discussão.....	39
4.1.	Valores de amido total	41
4.2.	Valores de amilose.....	43
4.3.	Digestão <i>in vitro</i> do amido	45
4.4.	Determinação do índice glicêmico.....	58
4.4.1.	Diferenças entre o índice glicêmico de arroz integral e branqueado.....	61
4.4.2.	Diferenças entre o índice glicêmico de arroz vaporizado e não vaporizado	62
4.5.	Correlações entre os parâmetros analisados e o índice glicêmico.....	62
5.	Conclusões.....	65
6.	Referências bibliográficas	69
7.	Anexos	77

Índice de Figuras

Figura 1 - Via de evolução das espécies das plantas de arroz cultivado.	7
Figura 2 - Ilustração da panícula e folha da planta de arroz. (Adaptado de Arnulfo Rosario 1965, (23)).	8
Figura 3 - Ilustração da estrutura do grão de arroz. (Adaptado de Arnulfo Rosario 1965, (23)).	10
Figura 4 - Fábrica de processamento de arroz NOVARROZ.	11
Figura 5 - Laboratório de análises da NOVARROZ.	13
Figura 6 - Organização esquemática de todos os passos do processamento industrial de arroz.	15
Figura 7 - Estrutura da cadeia linear de $\alpha(1 \rightarrow 4)$ - D - glucopiranosilo (amilose).	22
Figura 8 - Estrutura das cadeias de $\alpha(1 \rightarrow 4)$ - D - glucopiranosilo com ramificações $\alpha(1 \rightarrow 6)$ (amilopectina).	22

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Curvas de hidrólise, não bem-sucedidas, de três variedades, com α -amilase a 37°C das variedades de arroz.	45
Gráfico 2 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Carnise.	47
Gráfico 3 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Suriname.	47
Gráfico 4 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Coplantio.	48
Gráfico 5 - Curva de cinética de hidrólise de amido da variedade Gládio.	49
Gráfico 6 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Ronaldo.	50
Gráfico 7 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Basmati.	50
Gráfico 8 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Pusa Vaporizado.	51
Gráfico 9 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Coplantio Integral.	52
Gráfico 10 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Olimar.	52
Gráfico 11 - Curva de cinética de hidrólise do Pão Branco Fresco.	53
Gráfico 12 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Guadamar.	54
Gráfico 13 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Low GI.	54
Gráfico 14 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Thai Hom-Mali.	55
Gráfico 15 - Curva de cinética de hidrólise da variedade VM.	55
Gráfico 16 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Glutinoso.	56
Gráfico 17 - Curva de cinética de hidrólise da variedade VM vaporizado.	57
Gráfico 18 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Ariete.	57
Gráfico 19 - Curvas de hidrólise de todas as variedades de arroz.	58
Gráfico 20 - Curvas de hidrólise de todas as variedades de arroz.	59
Gráfico 21 - Gráfico a demonstrar as diferenças entre o índice glicêmico de arroz integral e branqueado.	61
Gráfico 22 - Gráfico a demonstrar as diferenças entre o arroz vaporizado e não vaporizado.	62
Gráfico 23 - Primeira reta de calibração de amilose de arroz.	79
Gráfico 24 - Segunda reta de calibração de amilose de arroz.	80

Índice de tabelas

Tabela 1 - Tabela de índices glicêmicos dos principais géneros alimentícios (adaptado de(8,9))5	
Tabela 2 - Conteúdo médio de nutrientes no arroz branqueado O. sativa (por 100g de amostra) (adaptado de (38,39)).	17
Tabela 3 - Propriedades das duas estruturas que compõem o amido (amilose e amilopectina) (12).	21
Tabela 4 - Tabela com as variedades fornecidas pela empresa NOVARROZ.	32
Tabela 5 - Valores de amido total das variedades de arroz recorrendo à ação da α -amilase e da amiloglucosidase.	41
Tabela 6. Valores de amido total, de algumas variedades, recorrendo à dispersão, não bem-sucedida, do amido com hidróxido de potássio e ação da amiloglucosidase.	42
Tabela 7 - Tabela com os valores de amilose das amostras de arroz.	44
Tabela 8 - Tabela com os valores de índice de hidrólise e de Índice Glicémico estimados para cada uma das amostras.	59
Tabela 9 - Tabela de Correlações entre os parâmetros avaliados.	64
Tabela 10 - Concentrações dos padrões de amilose de arroz.	79
Tabela 11 - Tabela com valores dos parâmetros de Brancura Total e Área Gessada.	80
Tabela 12 - Tabela com valores dos parâmetros de % de Humidade e de Tempo de Cozedura.	80
Tabela 13 - Tabela com valores do parâmetro da Absorção de Água.	81
Tabela 14 - Tabela com os valores referentes às curvas de hidrólise de todas as variedades.	81

Lista de abreviaturas

AUC – Area Under the Curve

IG – Índice Glicémico

IH – Índice de hidrólise

BT – Brancura Total

AG – Área Gessada

TC – Tempo de Cozedura

AbA – Absorção de Água

AT – Amido Total

1. Introdução

1.1. Distúrbios alimentares

Com a evolução dos anos e dos maus hábitos alimentares, problemas como a diabetes e a obesidade tornaram-se parte do quotidiano da humanidade (1,2). Como os hidratos de carbono são uma fonte de energia muito importante, e para a fração da população que é afetada por estas doenças é necessário ter em atenção determinados aspetos sobre a sua absorção, surge a preocupação de tentar atenuar problemas que possam advir do consumo de alimentos com alto teor de hidratos de carbono, como por exemplo o arroz (3).

O arroz é um dos cereais mais consumidos no planeta e é conhecido por ter uma boa digestibilidade associada, comparando com outros cereais. Tem um índice glicémico relativamente alto e causa uma baixa fermentação ao nível do cólon (4). Com amidos de digestibilidade lenta é possível que haja um menor aumento dos valores de glicemia no sangue no período após a refeição e também possibilita que, ao longo do tempo, os valores se mantenham estáveis. Para indivíduos com as doenças referidas acima, os estudos de índice glicémico adquirem crucial importância, pois o consumo de alimentos com baixos índices glicémicos vai proporcionar respostas fisiológicas mais normais, diminuições da saciedade e, no caso da diabetes, uma melhor gestão da doença (4,5).

O consumo de alimentos com alto índice glicémico também se mostrou relacionado com o problema da obesidade. Devido à rápida digestão e absorção, deste tipo de alimentos, é despoletada uma resposta no organismo que propicia o armazenamento de calorias nos adipócitos (6). Os alimentos de baixo índice não só promovem o consumo imediato das calorias, como também aumentam a saciedade (6,7). Antigamente os alimentos de baixo índice glicémico tinham como propósito indivíduos afetados por estas doenças, mas nos dias que correm essa noção já foi alterada, pois todos os consumidores deste tipo de produtos podem beneficiar com as propriedades benéficas do baixo índice glicémico e também ajudar na prevenção para o aparecimento das próprias doenças (8).

1.2. Índice Glicémico

O índice glicémico correlaciona a resposta em termos de aparecimento de glucose no sangue com o de um alimento de referência (ex. Pão branco fresco), podendo resultar em valores de menos de 20% até mais de 120% (9). Alimentos com índice glicémico mais

alto vão produzir um pico mais alto no nível de glucose pós-prandial, e de um modo geral uma resposta glicêmica mais intensa, durante as duas horas após a refeição (4,9). Como já foi referido, uma resposta glicêmica baixa é considerada benéfica de um ponto de vista nutricional.

Diferenças na digestibilidade do amido podem ser atribuídas a várias razões, como sendo, origem botânica, processamento, propriedades físico-químicas, tamanho das partículas, rácio amilose/amilopectina e presença de complexos amilose-lípido (10). Nos estudos da digestibilidade do amido foram ainda descobertos outros fatores que a podem influenciar, tal como o caso do amido resistente. Este é designado assim, visto ser o amido que, após a ação hidrolítica por via enzimática, não foi hidrolisado e permanece na sua forma cristalina sendo, posteriormente, fermentado pela microflora intestinal (11–13). A resposta glicêmica do arroz é considerada alta quando comparada a outros alimentos ricos em amido (Tabela 1) (8,9). O arrefecimento e armazenamento de arroz cozinhado levam à retrogradação do amido, via recristalização, que vai aumentar o nível de amido resistente a enzimas (11,13,14). A retrogradação refere-se às mudanças que ocorrem no amido gelatinizado após arrefecimento. Este vai levar à recristalização total reversível, no caso de amidos ricos em amilopectina, e parcialmente irreversível no caso da presença de amilose (10–13). Estudos mostraram que houve maior grau de recristalização em arroz cerosos (consistem exclusivamente de amilopectina), do que em arroz não cerosos (12,13). Tanto arroz com alto teor de amilose, como arroz cerosos, mostraram abrandamento na digestão de amido, quando arrefecidos e armazenados, depois de terem sido cozinhados, revelando assim que o efeito da retrogradação do amido foi no sentido da redução do índice glicémico (10–13,15). Geralmente, arroz com maior teor de amilose são usados como fonte de amido resistente, enquanto arroz cerosos, servem como fonte de amido rapidamente digestível. O amido resistente age como substrato da fermentação no cólon e está negativamente correlacionado com o índice glicémico (i.e. + amido resistente → Menor índice glicémico) (5,10,13,16). Ainda assim, é necessária a averiguação destes mecanismos para poder ter a certeza de qual ou quais os rumos a seguir, para que seja possível a diminuição dos índices glicémicos no arroz.

Tabela 1 - Tabela de índices glicémicos dos principais géneros alimentícios (adaptado de(8,9))

Alimento	Índice Glicémico
Glucose	138
Batata	80 – 120
Cereais de Pequeno-almoço	74 – 131
Pão	100
Sacarose	92
Banana, Damasco, Passas de Uva	79 – 93
Arroz	60 – 140
Pão de massa azeda	83
Massa	40 – 70
Lactose	65
Maçã, Pêra, Laranja	45 – 74
Leite, Iogurte	15 – 60
Frutose	27
Cevada	30 – 40
Legumes	12 - 70

1.3.O Arroz

O arroz é o alimento primário cultivado mais importante do planeta. Mais de 90% do arroz é produzido e consumido na Ásia, onde vive 60% da população mundial. O arroz representa 35 a 60% das calorias ingeridas por 3 mil milhões de asiáticos e é plantado em cerca de 148 milhões de hectares anualmente. A importância do arroz na dieta varia de acordo com os países, tendo uma maior representação em países como Bangladesh, Camboja, Laos e Mianmar cujos consumos atingem os 70%, ou ainda a China e a Índia com 40% (17–22).

Estudos mostraram que os hidratos de carbono do arroz, que são digeridos e absorvidos lentamente, são agentes favoráveis no controlo de desordens alimentares metabólicas, como diabetes e hiperlipidemia. Alimentos como legumes, massas e cereais integrais exercem este efeito. Existem muitos fatores que podem influenciar a cinética de digestão do amido, sendo por exemplo: a natureza do amido; formato físico do amido; interações de proteínas e lípidos; presença de anti nutrientes e inibidores enzimáticos; processamento dos alimentos (16). O estudo do índice glicémico,

relativamente ao arroz, ganha então uma grande relevância, visto que se abre a possibilidade de integrar, num dos alimentos mais consumidos no mundo, propriedades desejáveis, do ponto de vista da saúde e da alimentação saudável.

1.3.1. Origem do arroz

A origem do arroz atrai o interesse de muitas áreas da ciência, visto que a sua evolução se deveu não só à evolução das espécies de arroz, mas também à sua localização geográfica e também à influência do homem na sua evolução (Figura 1) (16). Existem duas espécies de plantas de arroz cultivado, a *Oryza sativa* (arroz asiático, comercializado por todo mundo), e a *Oryza glaberrima* (arroz africano, comercializado a uma escala inferior no oeste de África) (17).

O arroz pertence à família das *Gramineae*. O género *Oryza* terá sido originado há mais de 130 milhões de anos e foi espalhado pelo supercontinente Gondwanalandia, que posteriormente se dividiu, formando os continentes, africano, sul-americano, australiano e asiático onde há uma predominância na cultura de arroz (17). A julgar por estudos recentes verificou-se que o processo evolutivo geral foi originado por esta ordem: selvagem perene (ancestral comum *O. perennis*, seguida de, selvagem anual e originando finalmente a espécie cultivada anual por influência de vários fatores, nomeadamente, a mão humana. Verificou-se que o ancestral selvagem perene das espécies *Oryza* asiáticas e sul-americanas era a espécie *O. rufipogon*. Já para as espécies do continente africano o ancestral selvagem perene foi a *O. longstaminata* (23).

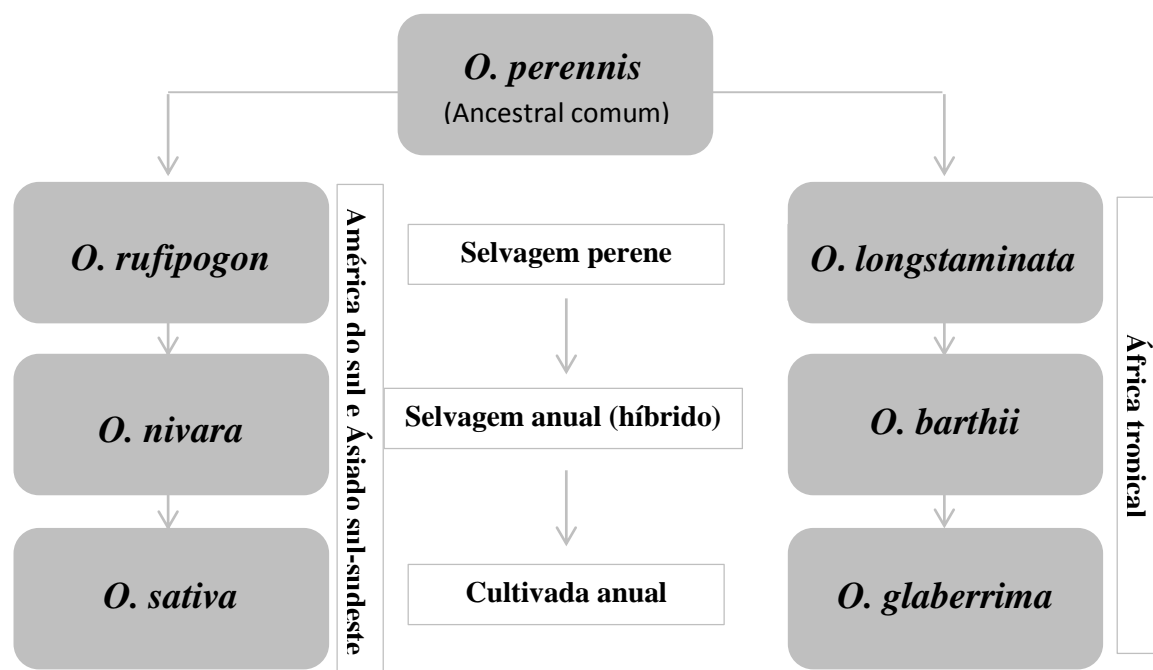


Figura 1 - Via de evolução das espécies das plantas de arroz cultivado.

A espécie *O. sativa* está relativamente bem distribuída a nível mundial. Está dividida em duas variedades principais: indica (à qual pertence o arroz agulha) e japónica (à qual pertence o arroz carolino) (17). A variedade indica é originária de regiões húmidas e tropicais da Ásia, enquanto a variedade japónica está limitada a zonas temperadas e subtropicais. Estas duas variedades exibem semelhanças fenotípicas que abrangem várias características morfológicas, ainda assim mostrando diferenças na forma do grão, reação fenólica, conteúdo de amilose, entre outros (22,24). A existência de mutações nas espécies de arroz também foi um importante interveniente na grande variabilidade que existe nos tipos de arroz. Estas mutações tanto podem manifestar-se fisicamente (aspeto do grão, etc.), mas também a nível da composição do grão de arroz (teores de amilose, amilopectina, etc.) (12). A influência da composição química no índice glicémico é evidente, e portanto, o estudo das variedades de arroz, focado neste tema, pode proporcionar avanços na caracterização do impacto a nível glicémico e também no desenvolvimento de arrozes de baixo índice glicémico.

1.3.2. Morfologia da planta

A planta do arroz é uma planta aquática, e todos os fatores que influenciarem o seu crescimento, como sendo, irrigação, solo, clima, métodos de cultivo e uso de pesticidas, vão afetar o crescimento da planta e a sua morfologia e, por consequência, influenciar a composição química e alguns aspectos físicos do grão de arroz. Os componentes principais da planta são a raiz, o colmo, as folhas e a panícula (Figura 2) (23,24).

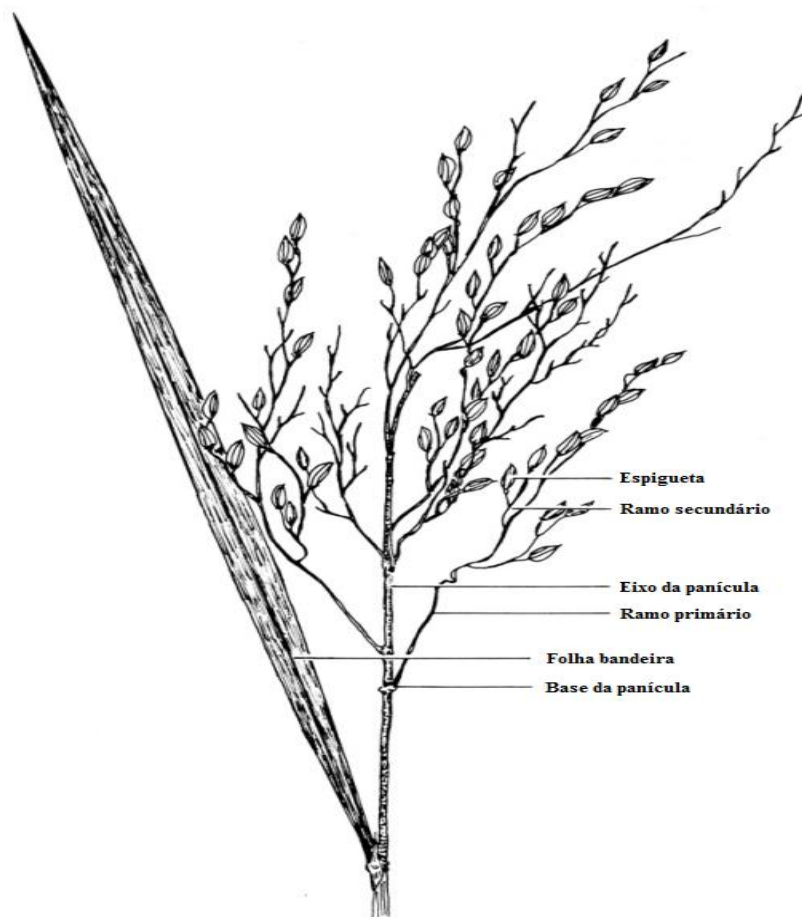


Figura 2 - Ilustração da panícula e folha da planta de arroz. (Adaptado de Arnulfo Rosario 1965, (23)).

O arroz cultivado é caracterizado como uma planta anual com caules articulados, folhas lisas e com panículas terminais (23,24). A panícula é uma ramificação que surge no nó mais acima do colmo da planta. É um rebento cuja sua característica estrutural principal é que a quantidade e tamanho de ramificações decresce da base para o ápice (formato piramidal) (23,24). Na panícula encontram-se também as espiguetas. Estas consistem em duas lemas estéreis e a floreta. É na floreta que se encontram os órgãos

reprodutores da planta que se encontram rodeados pela lema e palea, que têm uma estrutura dura e com função protetora (23,24). O grão de arroz vai ser formado com amadurecimento do ovário, da lema, da palea e das duas lemas estéreis, que vão endurecer e aglomerar. Esta secção da planta vai ser influente na composição do grão de arroz, pois dependendo da sua posição, vai causar mudanças em aspetos físico-químicos do arroz (23,24).

1.3.3. Morfologia do grão de arroz

A textura do grão é afetada pelas propriedades químicas do grão (concentração de amilose, de proteína, de lípidos e de minerais) mas também pelas propriedades físicas (dimensões dos grãos de amido e morfologia das células) (18,19).

Os principais componentes do grão de arroz são a casca, a cobertura de cariopse, endosperma e o embrião (Figura 3) (estes três últimos são o conjunto designado como cariopse) (23,24). A casca do arroz é a camada mais exterior a cobrir o grão de arroz. É composta por 2 folhas: a palea e lema. As células da casca são altamente lignificadas e frágeis, caracterizadas por terem um grande conteúdo em sílica (23–25). Envolvendo o endosperma existe a cobertura da cariopse. Esta é composta pelo pericarpo, que é a camada mais exterior desta cobertura, seguido da cobertura da semente e por último uma cutícula de células nucelares esmagadas (23,24). O endosperma consiste numa camada de aleurona, e numa região mais interior do grão que é o endosperma de amido. Este constituinte do grão de arroz mostrou ser diferente para diferentes variedades de arroz, diferindo não só em aspetos físicos, mas também a nível químico da sua constituição, que se manifestam em diferenças nas dimensões do grão, textura e propriedades de cozedura (19,21,26). A camada de aleurona está numa posição mais exterior, e varia o número de camadas de células de parênquima (27), de acordo com a variedade do grão e também com fatores ambientais. É rica em fósforo, magnésio e potássio. A zona mais interior, o endosperma de amido, consiste em células de parênquima, com paredes celulares finas, alongadas. Os grânulos de amido da região mais interior do endosperma são maiores na generalidade comparando com os das células de parênquima periféricas. O endosperma tem um papel importante no valor nutritivo do arroz, de acordo com a sua composição, principalmente em amido, mas também em proteínas, lípidos e fibra dietética (23,24,27,28). O embrião ou gérmen é relativamente pequeno, em relação ao grão de arroz. Contém elementos como a gémula,

mesocótilo, radícula primária, epiblasto e escutelo. A parte mais externa do embrião é revestida pela camada de aleurona, pelo escutelo e pelo epiblasto (23,24).

De um modo geral, as espécies de arroz mantêm uma morfologia semelhante, mas as pequenas diferenças (dimensões, número de camadas de aleurona, etc.) vão infligir diferenças a nível de composição química do arroz. Pode ser afetado o conteúdo de hidratos de carbono, fibras, proteínas e lípidos que então resultará em diferenças nos índices glicémicos de cada espécie (18,29).

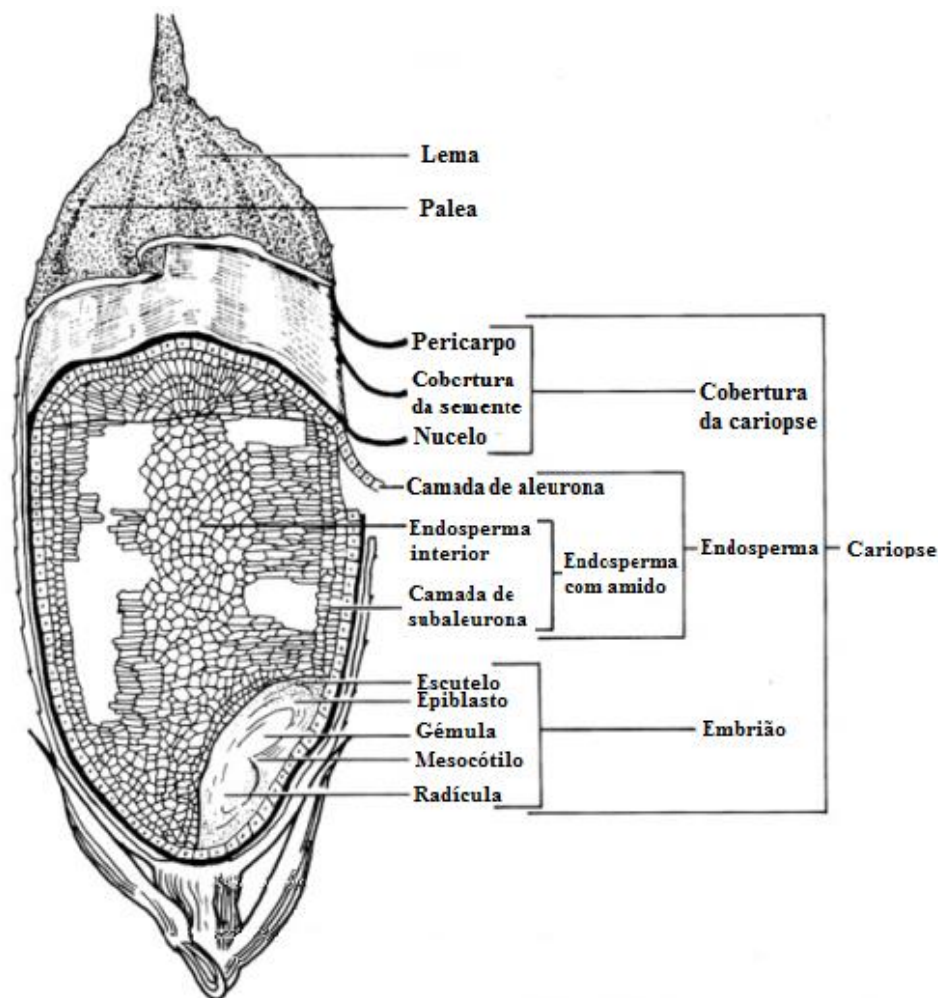


Figura 3 - Ilustração da estrutura do grão de arroz. (Adaptado de Arnulfo Rosario 1965, (23)).

1.4. Produção e processamento industrial de arroz

Para o arroz ser produzido e de seguida enviado para processamento industrial para futura comercialização, existe uma série de procedimentos que são efetuados desde a plantação do arroz até à comercialização do produto embalado. Estão incluídos neste

leque de procedimentos a preparação do solo, a irrigação, a colheita, a secagem e por último o processamento industrial (que compreende vários estágios).



Figura 4 - Fábrica de processamento de arroz NOVARROZ.

Ora, já se viu que cada espécie tem uma composição química característica mas, existem determinados passos que vão influenciar também, de certo modo, a composição. Os passos com maior relevância, que vão influenciar diretamente as características físico-químicas do arroz são a secagem do arroz, a vaporização e o processamento industrial (24,30,31).

1.4.1. Secagem do arroz

Por norma, quando o arroz é colhido, apresenta uma humidade na gama dos 24-26%. De seguida é urgente haver uma secagem do arroz. Se este processo não for feito, ou seja feito de maneira deficiente, vai resultar numa perda em aspetos quantitativos e qualitativos do arroz (32). Existem métodos que envolvem um aquecimento, cujo período de secagem ronda as 6-8h horas e garante a secagem do arroz (32). Este processo tem elevada importância pois, a presença de humidade excessiva é um problema, pois pode levar ao crescimento de microrganismos (32).

1.4.2. Vaporização do arroz

A vaporização não é um passo essencial na produção de arroz, mas apenas um tratamento a que este é sujeito para obtenção de outro tipo de arroz, o vaporizado. Este processo consiste em vaporizar os grãos de arroz, com casca e molhados, de modo a gelatinizar o amido, sem que haja um grande aumento de volume, e por fim seca-los lentamente. Isto vai resultar num grão translúcido e mais duro. Ao mesmo tempo, esta vaporização resulta numa decomposição parcial das vitaminas do complexo B, causada pela temperatura, que vão permitir que estas migrem para o endosperma, numa zona mais interna do grão (31). Deste modo, o grão obtido sofreu algumas alterações físicas que se vão manifestar nos tempos de cozedura e comportamento aquando do reaquecimento. Ainda, adquire também um maior teor de vitaminas que deixam de ser perdidas no passo do branqueamento de arroz (31).

1.4.3. Processamento Industrial

Neste passo, as alterações que acontecem ao arroz são de um cariz mais físico, visto que o arroz é submetido a ações abrasivas e de desgaste. No caso do arroz branqueado existem perdas mais acentuadas que no arroz integral, pois há o total polimento da sêmea do arroz que corresponde ao embrião e todas as camadas exteriores até à camada de aleurona, retendo só o endosperma. Como no arroz integral há a retenção da sêmea, que é rica em fibra, e que confere um índice glicémico mais baixo aos alimentos, isto causa implicações ao nível do impacto da resposta glicémica do arroz (33). Após colheita do arroz, este segue em casca, para uma fábrica, para se dar início ao novo estágio que é o processamento industrial. O processamento de arroz está dividido em 3 fases, que convertem a matéria-prima (arroz em casca) no produto final (arroz embalado) (Figura6).

1ª Fase

Esta primeira fase é iniciada com a chegada e receção de matéria-prima na fábrica. O arroz em casca chega à fábrica em veículos de transporte pesados, e é medido (pesado) em balanças industriais o peso da carga de arroz. Este passo é importante não só por motivos económicos inerentes à aquisição da matéria-prima, mas também é

importante para determinação de rendimentos industriais. De seguida é retirada uma amostra homogênea desta carga para seguir para o laboratório da fábrica (Figura 6q), onde serão feitas análises à carga para determinar certos parâmetros que vão ditar a qualidade da carga. No laboratório existe equipamento semelhante ao que existe na fábrica, sendo que o do laboratório está a uma escala bastante inferior. As amostras são então processadas no laboratório, obtendo no final a amostra de arroz já descascado e também branqueado. São então contabilizadas as percentagens de grãos com as características desejadas e não desejadas na amostra. Assim é possível apresentar uma lista de percentagens (referentes a uma amostra de 100g de arroz) que nos diz o estado e a qualidade do arroz. Dentro dessas percentagens estão incluídos: grãos perfeitos (grão de interesse), grãos verdes, grãos estriados/vermelhos, grãos danificados (possível germinação), grãos deformados (com formato claramente diferente do habitual na sua variedade), grãos gessados, grãos fendidos longitudinalmente, grãos amarelos, grãos ambarinos e grãos escuros. São também contabilizadas a casca (17%), a trinca (5-15%) e a sêmea (10%), que são muito importantes nesta lista de componentes rejeitados pois representam os componentes maioritários. Todos estes parâmetros vão ditar o preço comercial do arroz.



Figura 5 - Laboratório de análises da NOVARROZ.

Por fim, a matéria-prima é armazenada em silos, de grande capacidade, de acordo com a sua variedade ou fornecedor, e estando à disposição da fábrica para seguir para processamento industrial a qualquer altura.

2ª Fase

Após a receção e armazenamento de matéria-prima segue-se a 2ª Fase, numa secção da fábrica designada de Moinho, que é referente ao processamento de arroz em casca até ao produto final: arroz branqueado. Primeiramente, o arroz que está armazenado em silos é passado por tararas de limpeza que vão separar o arroz em casca de impurezas (palhas etc.). Logo a seguir, e com um propósito semelhante, o arroz passa pelas despedradoras, que, como o nome indica, vão retirar todo o tipo de pedras que possam ter sido recolhidas durante a colheita da matéria-prima. Por esta altura, no circuito de processamento, já só se encontra arroz em casca. Por conseguinte, o arroz é então sujeito à ação das descascadoras, que retiram e separam a película exterior (casca) do arroz. Deste passo resulta um arroz acastanhado, conhecido como arroz integral. Este é ainda passado por outra tarara para retirar alguma casca que não tenha sido separada no processo de descasque.

O arroz integral é passado pelas branqueadoras, onde sofre uma ação de branqueamento, por embate e fricção contra uma pedra giratória, que vai retirar a camada de aleurona do arroz. Cada variedade tem um tempo específico de branqueamento, visto que variedades diferentes, têm composições diferentes. Neste passo obtêm-se o arroz branqueado e uma farinha, denominada sêmea, que corresponde à camada que foi retirada do arroz pela ação das branqueadoras, e que é retirada do circuito de processamento. O arroz branqueado vai passar agora pelos trios, que têm o intuito de separar o arroz da trinca. Neste passo, a trinca que é separada apresenta dimensões consideráveis, e portanto é denominada como trinca grada. De seguida, o arroz passa por um polimento através da ação de água, que vai aperfeiçoar os grãos de arroz e retirar todos os tipos de poeiras gerados pelos processos anteriores. Por esta altura, o arroz é novamente passado por outros trios, para retirar a trinca miúda, com menores dimensões que a trinca grada.

O último passo do processamento de arroz, é a passagem pelas seletoras, que são máquinas sensíveis, cujo objetivo é retirar grãos indesejáveis, já mencionados acima.

Estando o arroz já processado, portanto descascado e branqueado, é armazenado em silos de arroz branqueado, onde está pronto para seguir para a 3ª fase.

3ª Fase

Nesta fase a matéria-prima já foi transformada e o produto já está pronto a ser embalado para ser posteriormente comercializado. O arroz branqueado que está armazenado nos silos, é transferido para as linhas de embalagem, para poder ser embalado. O arroz é então embalado em pacotes de 1 quilograma e colocado em paletes para armazenamento ou comercialização.

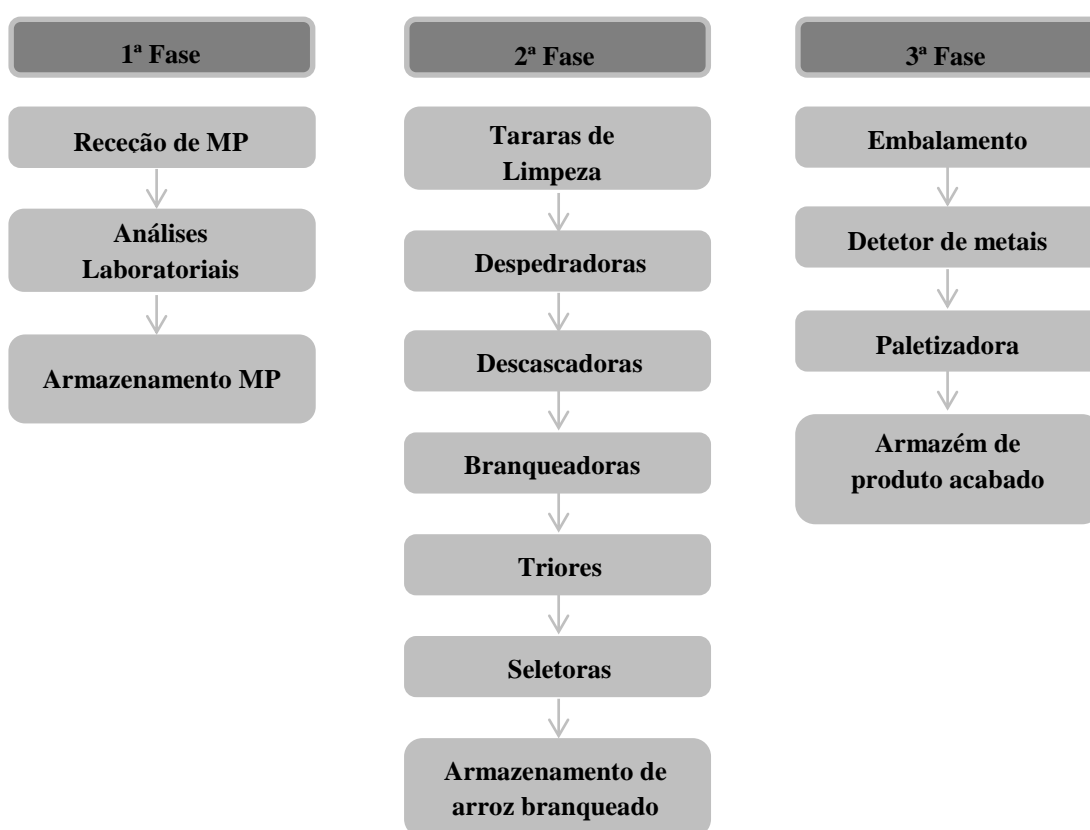


Figura 6 - Organização esquemática de todos os passos do processamento industrial de arroz.

1.5.Composição do arroz

1.5.1. Composição química geral

O grão de arroz é composto por 75 a 82% de hidratos de carbono, uma humidade de cerca de 12% e 7% de proteínas (Tabela 2) (34). As proteínas presentes no grão de arroz são altamente digestíveis e têm um grande valor biológico. Também é composto por minerais como cálcio, magnésio, fósforo e também ferro, cobre, zinco e manganês,

embora em concentrações relativamente baixas. O arroz é ainda uma boa fonte de tiamina, riboflavina e niacina, estando localizadas principalmente no pericarpo, camada de aleurona e embrião (30,35). O valor nutritivo do arroz pode variar dependendo de vários fatores, entre eles destacam-se a variedade do grão, processamento industrial, a fertilidade do solo, a aplicação fertilizantes e condições ambientais (29,30).

Grãos de arroz acabados de colher apresentam cerca de 80% de hidratos de carbono que se dividem em amido, glucose, sacarose, dextrinas, entre outros, sendo o amido o incontestável maioritário e apresentando-se sob a forma de amilose e amilopectina (35). Durante o processamento industrial o arroz sofre a ação de vários processos que vão resultar no produto final e mais outros subprodutos: arroz branqueado ou integral; cascas e sêmea. O arroz que não sofre a ação do moinho contém uma quantidade de fibra dietética, proteínas, vitaminas e minerais, superior, quando comparando com o arroz não branqueado (35,36). Apesar de tudo, o arroz branqueado é o arroz que é mais consumido pelas pessoas. Após o processamento industrial de arroz, este acaba por perder entre 67 a 90% de vitaminas do complexo B, cerca de 60% do ferro e toda a fibra dietética (34,35). O conteúdo lipídico presente no grão está praticamente inteiramente na sêmea (que inclui o embrião, camada de aleurona e pericarpo), sob a forma de esferossomas ou corpos lipídicos. Desta forma, o arroz branqueado tem quantidades vestigiais de lípidos na sua composição (34,35). O arroz é ainda uma boa fonte de fibras insolúveis. Estas têm um papel importante na redução do risco de desordens ao nível do intestino. Ainda assim, como já referido anteriormente, a grande maioria delas acaba por ser perdida com as ações de polimento do arroz (34,35). A seguir aos hidratos de carbono, as proteínas representam o segundo constituinte mais abundante no arroz. As proteínas do arroz são constituídas de glutelinas (68 a 72%), globulinas (12 a 17%), albuminas (10 a 12%) e prolaminas (2 a 3%) (30,34,35). Ao contrário de outros cereais ricos em hidratos de carbono, as proteínas presentes no arroz têm um valor nutricional superior. O conteúdo proteico está sujeito a uma certa variabilidade, sendo que no arroz branqueado representa 7% da constituição do grão, atingindo 8% no arroz integral (37). A qualidade das proteínas é definida pela sua composição de aminoácidos e pela sua digestibilidade. O balanço de aminoácidos é muito bom, tendo o perfil de aminoácidos das proteínas do arroz mostrado valores altos de ácido glutâmico e aspártico, enquanto a lisina se mostrou como o limitante ao nível do valor nutritivo. Como os minerais se encontram na zona mais externa do grão, o

arroz branqueado não representa uma fonte rica de minerais, excetuando quando é consumido na forma de arroz integral (36).

Pela constituição do arroz é possível inferir que o grande responsável pelo impacto da resposta glicêmica será o grupo dos hidratos de carbono, por ter uma grande percentagem de representação. Ainda assim, também se pôde observar que existem mais elementos que podem contribuir para o efeito, sendo um deles a fibra dietética (33).

Tabela 2 - Conteúdo médio de nutrientes no arroz branqueado O. sativa (por 100g de amostra) (adaptado de (38,39)).

Nutrientes	Conteúdo médio aproximado (por 100g de amostra)
Energia	1461kJ
Humidade	12.9g
Hidratos de carbono	77.8g
Proteínas	6.8g
Lípidos	0.6g
Fibras	1.4g
Minerais	0.5g
Cálcio	6mg
Magnésio	65mg
Fósforo	120mg
Ferro	0.6mg
Cobre	0.13mg
Zinco	0.5mg
Manganês	2mg
Tiamina	0.06mg
Riboflavina	0.03mg
Niacina	1.3mg

1.6.Amido

1.6.1. Amido: o componente principal

O amido é o composto maioritário que está presente no arroz, sendo a sua percentagem relativa muito superior a qualquer outro composto que faça parte da composição do arroz. O amido representa a forma maior na qual os hidratos de carbono podem ser armazenados (12,30,31,35). O amido pode estar incluído nas folhas, raízes, frutos, flores, pericarpos, embriões e, no caso do arroz, no endosperma das sementes. O amido de reserva forma-se nos amiloplastos. Estes são cloroplastos que perderam a sua estrutura lamelar e que portanto começaram a produzir uma grande quantidade de grânulos de amido de reserva. No caso do arroz ocorre a formação de mais do que um grânulo no amiloplasto (40). O amido localizado nas sementes, tubérculos e raízes tem muito maior representatividade do que as outras fontes de amido. A constituição e estrutura do amido vão ter grande influência na qualidade, textura e propriedades de cozedura do arroz (19,40).

1.6.2. Formação e variabilidade do amido

A formação do amido nas sementes é iniciada no ápice do grão e na zona central. Ele vai-se depositando, sendo que por último se dá a deposição nas células mais jovens perto da camada de aleurona. Se os tecidos onde é formado o amido não se desenvolverem de maneira correta (por fatores ambientais, etc.), então vai levar a diferenças na composição e, portanto, variações na composição de amido. Com o desenvolvimento do tecido, onde é formado o amido, há, não só um aumento da quantidade de amido, mas também um aumento na concentração de amido (12). O tamanho e forma dos grânulos de amido é diverso, sendo específicos para cada espécie, ainda que dentro de cada espécie possa ser não uniforme. Nos tecidos das espécies de arroz é comum encontrar grânulos mais pequenos (12,41). Variações nas condições ambientais, para além de terem influência nas percentagens de amilose, também vão afetar o diâmetro dos grânulos de amido. Os amiloplastos, onde se sintetiza o amido, são organelos que se desenvolvem a partir de proplastídeos, são ligados através de membranas duplas, e são especializados para a acumulação de amido (12,41).

Na formação do amido existe uma primeira fase, que consiste na síntese do glucosilo que vai servir de iniciador, seguida da extensão para dar seguimento à síntese

da cadeia. A proteína UDP-Glc transglucosilase catalisa a síntese, para algumas plantas, sendo esta glicosilada e servindo como o iniciador para a amido sintase (12,42). Na formação do amido entram em ação, também, a ADP-Glc pirofosforilase (AGPase) e a enzima ramificadora do amido (SBE - Starch Branching Enzyme) que finalizam o processo de formação do amido, tanto para tecidos fotossintéticos, como para não-fotossintéticos (12,42,43). A enzima amido sintase é responsável pela transferência de um açúcar, que está ligado ao nucleótido ADP-Glc, para um malto-oligossacarídeo, ou para os polímeros do amido (amilose e amilopectina), desta forma formando a nova ligação glicosídica $\alpha(1\rightarrow4)$. Algumas sintases permanecem ainda no grânulo de amido após o período de síntese. São designadas de amido sintases granulares e podem ser solubilizadas pela α -amilase aquando da digestão (12,44). Mutações genéticas que levem ao funcionamento deficiente destas enzimas responsáveis pela síntese de amido, vão refletir-se numa variação da composição do amido ao nível do endosperma, e que por sua vez vão mostrar diferenças de comportamento a nível de gelatinização e retrogradação (12).

O arroz ceroso ou glutinoso é caracterizado por uma aparência opaca, e isto acontece graças à composição de amido no grão. Nestas espécies são produzidos grânulos de amido no endosperma que contêm quase 100% de amilopectina e ao reagirem com o iodo apresentam uma cor vermelha. Existem espécies de arroz com o gene *wx*, o gene característico dos arroz cerosos, que, quando devidamente quantificado, mostraram valores, ainda que residuais, de amilose (12,43,45). Isto pode ser explicado pelo facto de cadeias das ramificações da amilopectina estarem fracamente ligados, daí registarem a deteção de amilose. Graças a estas variações, verificaram-se, nas espécies cerosas de arroz, valores de amilose entre 0 a 6% (12). Existem também genes que causam um aumento na percentagem de amilose no endosperma do arroz, que são os genes *ae*. Normalmente, estas espécies apresentam dimensões do grão mais reduzidas. Mostram também uma diminuição na produção de amido, e por outro lado aumento na concentração açúcares. As percentagens de amilose sobem de 13-15% para 26-32% para espécies de arroz japónica e de 24-25% para 39-41% para espécies de arroz indica (12,41,44). A existência de amilopectina com ramificações fracamente ligadas em amidos com genótipo *ae* e *ae wx* sugere que o alelo *ae* afeta o grau de ramificação da amilopectina, na síntese do amido, por interagir com o complexo enzima ramificadora do amido/amido sintase. A atividade das enzimas ramificadoras do amido em espécies do genótipo *ae* mostraram uma atividade baixa, de

cerca de 20%, que resultará numa fraca ramificação da amilopectina e também num aumento do conteúdo em amilose (12,41).

A presença de mutações pode influenciar a síntese de amido. O efeito principal é um aumento nas percentagens de um polissacarídeo, semelhante à amilopectina, que é o fitoglicogénio (46). Este é altamente ramificado, mais do que a amilopectina, e com a sua presença, neste tipo de mutações, revelam-se alterações nas concentrações de polissacarídeos totais, e ao mesmo tempo alterações nas ramificações da amilopectina (aparecimento de ramificações mais curtas), por redução da atividade da enzima ramificadora do amido, e aumento da atividade da enzima ramificadora do fitoglicogénio (43,46).

O amido pode tomar várias formas, que geralmente se restringem a duas formas distintas: esférica e irregular. Amido com forma irregular varia na forma, mas por norma apresenta um formato alongado e não birrefringente (não produz dupla refração). Ainda assim, os grânulos esféricos podem, às vezes, desenvolver extensões alongadas semelhantes aos grânulos irregulares (12,41). No amido *ae* a existência de grãos irregulares tem uma variação entre 0 a 100%, que aumenta com o desenvolvimento do grão, com o aumento do conteúdo de amilose e com o envelhecimento das células. Apesar do tamanho dos grânulos do amido *ae* aumentar com o desenvolvimento do grão, as dimensões serão sempre mais pequenas que grânulos de amido normal, em qualquer estágio do desenvolvimento do grão (12,41).

1.6.3. Estrutura do amido

O grânulo de amido é responsável por armazenar energia durante longos períodos de tempo. Pelo facto de ser densamente composto, insolúvel em água e ainda assim acessível para as enzimas da planta, tornam o grânulo de amido um componente ideal para o cargo que é responsável. Os grânulos de amido têm várias formas e tamanhos: podem ser esféricos, elipsoides, poligonais, plaquetas, ou ainda túbulos irregulares, dependendo da origem (47).

Os grãos de amido são compostos principalmente por amilose e amilopectina (esta, maioritariamente). A amilose é um polímero linear de unidades de D-glucopiranosilo com ligações $\alpha(1 \rightarrow 4)$ (figura 7) e pode ter um grau de polimerização (GP- número de unidades monoméricas num polímero) tão alto como 600. Já a amilopectina consiste num polímero de cadeias lineares $\alpha(1 \rightarrow 4)$ - D - glucopiranosilo

com ramificações resultantes de ligações $\alpha(1\rightarrow6)$ (figura 8) (12,41). Estas ramificações, quando comparando com a amilose, vão ter um impacto grande nas propriedades físicas e biológicas do amido. As cadeias da amilopectina podem ser curtas ($12 < GP < 20$), longas ($30 < GP < 45$) e muito longas ($GP > 60$) (12,41). Para além da sua dimensão, também são classificadas de acordo com a presença de cadeias secundárias, sendo as classificações: Cadeias-A (não têm mais cadeias associadas), Cadeias-B (têm duas ou mais cadeias associadas) e as Cadeias-C (a própria cadeia é o terminal redutor) (12,41,43). As cadeias da amilopectina organizam-se espacialmente em duplas hélices, que são iniciadas a partir da junção, na ligação $\alpha(1\rightarrow6)$ (12,41,43). As características da ramificação são consideradas tão importantes como o tamanho das cadeias, no efeito que vão surtir nas propriedades físico-químicas do amido (43). Para quantificação destes dois tipos de estrutura recorre-se às propriedades ligantes do iodo à amilose e amilopectina, que vai originar compostos corados mesuráveis por aparelhos espectrofotométricos (Tabela 3) (12).

Tabela 3 - Propriedades das duas estruturas que compõem o amido (amilose e amilopectina) (12).

Propriedade	Amilose	Amilopectina
Estrutura	Linear	Ramificada
Cor com iodo	Azul-escuro	Roxo
λ_{\max} do complexo com iodo	~650nm	~540nm
Afinidade com o iodo	19-20%	<1%
Comprimento médio da cadeia	100-10000	20-30

No entanto, na quantificação de amilose e amilopectina por métodos baseados na complexação com o iodo há que ter em atenção diversos fatores, já que, por exemplo, a existência de ramificações com cadeias muito longas (no caso da amilopectina), podem levar à sobrestimação dos valores de amilose. Ao mesmo tempo, cadeias de amilose curtas, podem levar a uma subestimação do conteúdo desta. Para melhor determinação, poderá haver uma dispersão do amido e separação dos dois tipos de estruturas. Apesar do amido ser geralmente dividido em amilose e amilopectina é necessário contemplar a existência de espécies intermédias destes dois polímeros nos grânulos de amido. Quanto à percentagem de amilose, sabe-se que esta sofre grandes variações ainda que se trate só de uma espécie. Para o arroz a percentagem de amilose do amido varia entre 0 a 37% para vários cultivares (12,41).

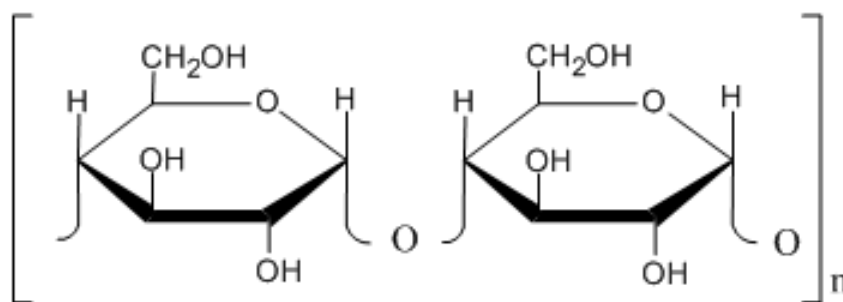


Figura 7 - Estrutura da cadeia linear de $\alpha(1 \rightarrow 4)$ - D - glucopiranosilo (amiloze).

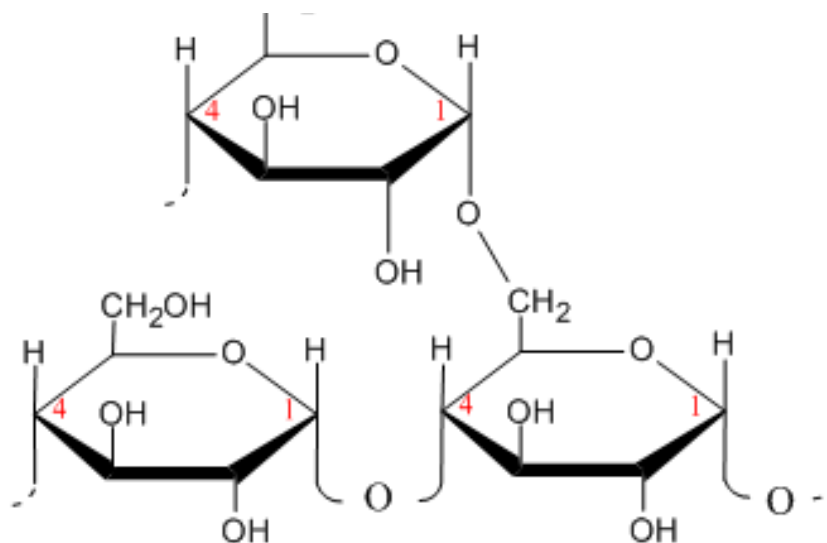


Figura 8 - Estrutura das cadeias de $\alpha(1 \rightarrow 4)$ - D - glucopiranosilo com ramificações $\alpha(1 \rightarrow 6)$ (amilopectina).

1.6.4. Digestão do amido

Para degradação das ligações nas cadeias de amido é necessária a ação de enzimas. Para esta tarefa existem quatro tipos principais de enzimas: as amilases (que hidrolisam ligações $\alpha(1 \rightarrow 4)$ glicosídicas); as isoamilases (que hidrolisam ligações $\alpha(1 \rightarrow 6)$ glicosídicas); Glucanossil transferases (que transferem ligações $\alpha(1 \rightarrow 4)$); $\alpha(1 \rightarrow 4)\alpha(1 \rightarrow 6)$ transferases (que são enzimas ramificadoras) (12,48–50).

As amilases podem ser divididas em 3 classes, sendo essas, α -amilases endo-atuantes, β -amilases exo-atuantes e as isoamilases. O mecanismo de endo-digestão do amido consiste na hidrólise de ligações a meio da cadeia e não nos terminais, que é da responsabilidade da α -amilase (12,48). Já o mecanismo de exo-digestão do amido, infligido pela β -amilase, consiste na quebra de ligações a partir do terminal não redutor. O mecanismo de endo-digestão das α -amilases rapidamente fragmenta as cadeias de amido em cadeias mais pequenas reduzindo a cor azul (detetada pelo método de

determinação com iodo) e também a viscosidade (12,43). A ação da α -amilase salivar no amido provoca a fragmentação deste, e resulta em vários produtos, nomeadamente, fragmentos com um a quatro açúcares e também dextrinas com uma ou duas ligações $\alpha(1\rightarrow6)$ (12,48,50). Como já referido, as β -amilases atacam o amido no terminal não-redutor, e existem duas classes desta: as geralmente denominadas como β -amilases, que produzem β -maltose; e as glucoamilases que produzem β -D-glucose. Com a ação das maltose- β -amilases cerca de metade da amilopectina é convertida em β -maltose. Ao contrário de outras amilases, as glucoamilases conseguem catalisar a quebra de ligações $\alpha(1\rightarrow4)$ e, ao mesmo tempo, ligações $\alpha(1\rightarrow6)$, conseguindo converter completamente o amido a D-glucose (49). As isoamilases vão hidrolisar as ligações referentes aos pontos de ramificação (ligações $\alpha(1\rightarrow6)$) e ocorre de maneira mais lenta para cadeias mais curtas do que para cadeias mais longas. Um exemplo poderá ser a polulanase ($\alpha(1\rightarrow6)$ - D-glucanohidrolase) (49).

1.6.5. Retrogradação do amido

Tratamentos hidrotérmicos no amido revelaram causar alterações a nível estrutural. A gelatinização, que ocorre com excesso de água e aquecimento, causa grandes alterações nas propriedades reológicas, que se manifestarão em alterações no comportamento e funcionalidade do amido. A formação de novas estruturas após o arrefecimento do amido, como a retrogradação e complexação com lípidos, podem ser benéficas ou prejudiciais para a qualidade do produto final (10,12). Quando o amido é imerso em água, os grânulos aumentam o volume de um modo reversível, devido à hidratação e inchaço das zonas amorfas. Durante a gelatinização, causada pelo excesso de água e pelo aumento de temperatura gradual, a dada altura, os grânulos de amido vão inchar irreversivelmente. Portanto, a gelatinização representa um colapso na ordem das moléculas a nível do grânulo, em conjunto com as resultantes alterações irreversíveis nas propriedades do amido, como a captação de água, inchaço dos grânulos, fusão de cristalitos, perda de birrefringência e viscosidade (11–13). O armazenamento após estes tratamentos (cozeduras e tratamentos hidrotérmicos) afetam as propriedades mecânicas do amido, visto que este é propenso a retrogradar. Num período curto de tempo (horas) o amido é afetado ao nível da sua rigidez, ordem molecular e cristalinidade. Já num período maior de tempo (dias) ocorrem reorganizações das cadeias e cristalização de amilopectina (11–13). Desta forma o amido que sofre a ação da retrogradação torna-se

diferente do amido que lhe deu origem, por mudanças a nível físico-químico (10). O amido resistente mostrou-se como sendo essencialmente amilose retrogradada. Processamento térmico, como autoclavagem ou vaporização, aumentam o conteúdo de amido resistente, em arroz não-cerosos (51).

2. Objetivos do estudo

O objetivo principal desta tese é o estudo dos índices glicémicos de algumas variedades de arroz que a empresa NOVARROZ processa, e da sua relação com o teor de amido e amilose aparente.

Com este estudo pretende-se estender a compreensão dos fatores que podem influenciar o índice glicémico do arroz, com o intuito de possibilitar o desenvolvimento de arrozes que causem respostas glicémicas mais baixas e que possam servir às necessidades de consumidores que careçam deste tipo de produtos.

3. Materiais e Métodos

Este estudo nasceu de uma parceria entre o Departamento de Química da Universidade de Aveiro e a empresa NOVARROZ. As amostras de arroz analisadas neste estudo foram fornecidas pela empresa e foram processadas de acordo com a segunda fase do esquema presente no capítulo da revisão bibliográfica (figura. 6). Todas as condições prévias à receção das amostras pela empresa não são do nosso conhecimento, mas assume-se que estão dentro dos parâmetros adequados para manter a qualidade do arroz.

3.1. Amostras

Foram analisadas catorze amostras de arroz branqueado, uma amostra de arroz integral, que não sofreu a ação de branqueamento na fase de processamento e a outra amostra de arroz que sofreu tratamento de vaporização (Tabela 4). As amostras são designadas por nomes atribuídos pelas empresas e/ou pelos produtores de arroz e são reconhecidas pela entidade de controlo de variedades.

Todas as amostras de arroz fornecidas apresentavam valores de humidade a variar entre os 12 a 14%, que se encontra dentro da gama ideal e estipulada por lei, para que não haja crescimento microbiano.

As amostras foram enviadas em grão em sacos com fecho hermético. Durante todo o período de análises houve particular atenção ao armazenamento das amostras, de modo a que se mantivessem inalteradas, o mais possível, as características iniciais do arroz. A amostra usada como referência para os valores de índice glicémico foi pão branco. As variedades Pusa Vaporizado e Low GI vieram referenciadas como tendo um baixo índice glicémico e foram usadas para se ter um termo de comparação.

Tabela 4 - Tabela com as variedades fornecidas pela empresa NOVARROZ.

Variedade	Subespécie	Tipo de grão
Olimar	Indica	Agulha
Basmati	Indica	Agulha Aromático
Gládio	Indica	Agulha
Carnise	Japónica	Risoto
Ariete	Japónica	Carolino
Glutinoso	Indica	Agulha
Coplantio	Indica	Agulha Vaporizado
Guadamar	Japónica	Médio
Suriname	Indica	Agulha
Thai Hom-Mali	Indica	Agulha Aromático
Ronaldo	Japónica	Carolino
Pusa Vaporizado	Indica	Agulha Vaporizado Aromático
Low GI	Indica	Agulha Vaporizado
VM	Indica	Agulha
Coplantio Integral	Indica	Agulha Vaporizado Integral
VM Vaporizado	Indica	Agulha Vaporizado

3.2. Preparação das amostras

As amostras de arroz em grão fornecidas foram previamente selecionadas, para separação de grãos defeituosos, isto é, que não apresentem área gessada maior que o normal e que não estejam partidos, estriados ou danificados, tal como é feito pela empresa nas fases de processamento industrial. As amostras foram moídas recorrendo a um moinho de laboratório (*Peter Instruments Laboratory Mill, 3303*), visto que para alguns dos métodos é preciso do arroz na forma de farinha. Entre cada amostra procedeu-se à limpeza do moinho para que não houvesse contaminação com farinha de outra variedade.

A farinha foi ainda peneirada com um crivo de 0.150mm visto que a granulometria era um aspeto importante nalguns métodos. Novamente, procedia-se à limpeza do crivo entre amostras, para que não houvessem contaminações.

3.3. Análise do teor de amilose

3.3.1. Preparação das amostras

O procedimento utilizado para determinação do conteúdo de amilose foi baseado no método ISO CD 6647 (52), com algumas alterações. Para esta análise foram usadas as amostras de farinha de arroz que foram peneiradas com o crivo de 0.150mm, de modo a clivar a estrutura do endosperma e ajudar a completar a dispersão e gelatinização.

3.3.2. Preparação da solução de iodo

A solução de iodo foi preparada pesando 2000 ± 5 mg de iodeto de potássio num balão volumétrico de 100mL. Adicionou-se água destilada suficiente para formar uma solução saturada (cerca de 20mL). De seguida adicionou-se 200 ± 1 mg de iodo (sublimado) à solução saturada e deixou-se o iodo a dissolver com agitação. Quando o iodo ficou todo dissolvido foi adicionada água destilada completando os 100mL.

A solução tem de ser preparada todos os dias em que se faça o procedimento, visto que se degrada e foi sempre guardada no frio e no escuro, quando não estava a ser utilizada.

3.3.3. Preparação da solução teste

Foram pesados $100 \pm 0,5$ mg de amostra para um tubo de ensaio. Adicionou-se 1mL de etanol, cuidadosamente, tentando lavar a farinha da amostra que ficou agarrada às paredes do tubo. De seguida adicionaram-se 9mL de NaOH (1M) e misturou-se com cuidado. O amido ficou a dispersar completamente durante a noite com agitação, num agitador elipsoidal, e com o tubo tapado com Parafilm[®]. Após este passo incubar o tubo durante 10 minutos num banho de água a ferver. Transferir o conteúdo do tubo, ainda quente, para um balão de 100mL perfazendo o balão com água destilada. Para preparação dos padrões procedeu-se de igual modo adicionando, em vez de amostra, $100 \pm 0,5$ mg da farinha dos padrões.

3.3.4. Amostras usadas para calibração

As amostras que foram usadas na calibração foram fornecidas pela empresa. Estas tinha concentrações conhecidas de amilose, determinadas por cromatografia de exclusão molecular. As concentrações destes padrões deve estar dentro da gama dos 0 a 30%. Os padrões fornecidos foram: waxy (0%), Ronaldo Azambuja (12,10%), Ulisses Azambuja (14,10%), Ariete Mondego (14,25%) e Gládio Salvaterra (22.8%).

3.3.5. Determinação do conteúdo de amilose

Pipetou-se 0,5mL de amostra preparada em 3.3.3. para um tubo de ensaio. Foram adicionados 5,0mL de água destilada, 0,1mL de ácido acético (1M) e 0,2mL da solução de iodo preparada em 3.3.2. ao tubo de ensaio. Adicionaram-se mais 4,2mL de água destilada de modo a fazer 10mL de solução. Taparam-se os tubos com Parafilm® e inverteram-se várias vezes de modo a misturar a solução. De seguida foram medidas as absorvâncias num espectrofotómetro a 620nm. Procedeu-se de igual modo para a preparação dos padrões e do branco adicionando, em vez de amostra, 0,5mL de solução padrão e 0,5mL de NaOH (0,09M), respetivamente.

3.4. Análise do conteúdo de amido total

A determinação do amido total foi feita de acordo com o método de Goñi e outros (1997) (16), com algumas alterações. Moeram-se os grãos com almofariz. Foram peneirados por um crivo de 5 mm. Foram pesados aproximadamente 100mg de amostra para tubos de ensaio. Foram adicionados 0,2mL solução aquosa de etanol (96%). Adicionaram-se 3ml de tampão tris-maleato (10 mM; pH = 6,9). Incubou-se 20 minutos em água a ferver, para gelatinizar, com os tubos fechados. Foi adicionado 1mL da solução de α -amilase (A-3176, Sigma) (40 mg/ml de tampão) e deixou-se a hidrolisar durante a noite a 20°C. Retirou-se uma alíquota de 0,100 ml para um eppendorf®. Adicionou-se 1 ml de tampão acetato-sódio (0,4M; pH=4.75) e 0,054 ml de amiloglucosidase (ref. 10115, Sigma) e deixou-se a reagir durante 45 minutos a 60° C. Diluiu-se esta solução 3 vezes com água e, de seguida, o amido foi medido, como glucose, com um *kit* de glucose oxidase-peroxidase (ref. AK00161, NZYTech). O kit consistia em colocar numa célula 0,100 ml de amostra e 3,000 ml do reagente GOPOD.

De seguida era incubada a 45°C, durante 20 minutos, e no fim a absorvância era medida a 510nm. A glucose foi convertida em amido multiplicando pelo fator de conversão 0,9. Antes de se utilizar a temperatura de hidrólise da α -amilase de 20°C, a hidrólise estava a ser feita a 37°C por indicação de todos os autores que tinham utilizado o mesmo método, que tinham usado a enzima dos mesmos fornecedores que estava a ser utilizada neste método. Os resultados só começaram a ser satisfatórios quando foi alterada a temperatura de hidrólise.

Também é de referir que, inicialmente, em vez da incubação com α -amilase, as amostras estavam a ser dispersas em hidróxido de potássio, mas os resultados de amido total estavam a ser muito baixos, de acordo com os dados bibliográficos, portanto, alterou-se o procedimento, recorrendo à adição de α -amilase, para que fosse possível obter valores de amido total corretos.

3.5. Cinética *in vitro* da digestão do amido e estimativa do índice glicémico

Este teste foi feito de acordo com o método de Goñi e outros (1997) (16) com algumas alterações. Pesaram-se aproximadamente 50mg de arroz em grão (2-3 grãos) para Erlenmeyers de 30mL. Adicionou-se 4mL de água destilada e cozeu-se o arroz num banho de água a ferver, durante 30 minutos, com os Erlenmeyers tapados. Após a cozedura, verteu-se a água, tendo o cuidado para não perder os grãos já cozidos. De seguida adicionou-se 10mL de tampão HCl-KCl (pH=1.5, 0.1M) e homogeneizou-se durante 2 minutos usando um homogeneizador Ultra Turrax (T25, Ika Werke). Após a homogeneização, adicionou-se 0.2mL de uma solução de 10mL contendo 1mg de pepsina (ref. 20895, Riedel-de Haën) e deixou-se num banho com agitação durante 90 minutos a 40°C.

De seguida adicionaram-se 15mL de tampão Tris-Maleato (pH=6.9, 50mM). Para começar a hidrólise adicionaram-se 5mL de tampão Tris-Maleato contendo 2.6IU de α -amilase (A-3176, Sigma). Os frascos foram colocados num banho a 20°C durante 3 horas sendo recolhidas alíquotas de 0.1mL, de 30 em 30 minutos, para um eppendorf®. Quando se recolhiam as alíquotas, estas foram colocadas num banho de água a ferver, durante 5 minutos, para inativar as enzimas. Após a inativação, adicionou-se 1mL de tampão acetato-sódio (pH=4.75, 0.4M) e 0.027mL de amiloglucosidase (ref. 10115, Sigma). As amostras foram então incubadas durante 45 minutos a 60°C, com agitação constante. Por fim a concentração de glucose das soluções foi determinada recorrendo a

um kit de glucose oxidase-peroxidase (ref. AK00161, NZYTech). A concentração de glucose foi convertida em concentração de amido por multiplicação do fator de conversão 0,9. A taxa de digestão do amido foi expressa como percentagem de amido hidrolisado nos diferentes tempos (30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos).

Para calcular os valores de índice glicémico das variedades foram traçadas as curvas de hidrólise para cada uma das amostras. A área debaixo da curva (**AUC**) foi calculada por integração numérica recorrendo à regra de Simpson composta, aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{AUC} = \frac{h}{3} * [f(x30) + 4f(x60) + 2f(x90) + 4f(x120) + 2f(x150) + f(x180)]$$

(h = [180 - 0] / n, sendo que n = ao nº de intervalos)

O valor do índice de hidrólise (**IH**) obteve-se dividindo a AUC de cada amostra pela AUC da amostra padrão, que foi de pão branco fresco, multiplicando por 100 para obter o valor em percentagem. O índice glicémico (**IG**) esperado foi então estimado usando o modelo de Goñi:

$$\text{IG} = 39.71 + (0.549 * \text{IH}).$$

3.6. Tempo de cozedura (TC)

A análise do tempo de cozedura foi realizada segundo o método ISO 14864:1998 (E) (53), com algumas adaptações. Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos, tendo sido obtidos num trabalho realizado em paralelo, intitulado “Potencialidades da espectroscopia NIR para análise de arroz comercial”, realizado por Alexandre Sério (2013) (54), e serão apresentados nos anexos.

3.7. Teor de humidade

A análise da taxa de humidade foi realizada segundo o método ISO 712:2001 (55), com algumas adaptações. A taxa de humidade define-se como a perda de massa, expressa em percentagem, sofrida pela amostra analisada, sob as condições

especificadas. Os ensaios foram realizados em duplicado para cada variedade de arroz. Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos, tendo sido obtidos num trabalho realizado em paralelo, intitulado “Potencialidades da espectroscopia NIR para análise de arroz comercial”, realizado por Alexandre Sérgio (2013) (54), e serão apresentados nos anexos.

3.8. Brancura Total (BT) e Área Gessada (AG)

A medição, do grau de brancura total e da área gessada dos grãos inteiros, é um parâmetro de rotina efetuado na empresa NOVARROZ e foi realizada com recurso a instrumentação comercial, nomeadamente “*AgroMay Statistic Analyzer S2I*”, segundo as práticas da empresa. Este aparelho trata-se de um inspetor de grãos de cereais o qual, através do processamento de imagem e subsequente análise estatística, permite a quantificação dos parâmetros referidos. Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos, tendo sido obtidos num trabalho realizado em paralelo, intitulado “Potencialidades da espectroscopia NIR para análise de arroz comercial”, realizado por Alexandre Sérgio (2013) (54), e serão apresentados nos anexos.

3.9. Absorção de Água (AbA)

A análise de absorção de água foi feita segundo o método descrito em Thomas e outros (2013) (56), com algumas adaptações. Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos, tendo sido obtidos num trabalho realizado em paralelo, intitulado “Potencialidades da espectroscopia NIR para análise de arroz comercial”, realizado por Alexandre Sérgio (2013) (54), e serão apresentados nos anexos.

4. Resultados e Discussão

4.1. Valores de amido total

Inicialmente começou-se por medir os valores de amido total de todas as variedades de arroz. Este parâmetro foi escolhido porque iria ser necessária a sua medição para obtermos valores relativos, de amido que é digerido, nos testes de cinética de hidrólise do amido.

Tabela 5 - Valores de amido total das variedades de arroz recorrendo à ação da α -amilase e da amiloglucosidase.

Amostras	Massa de amido Determinado (mg)	%	Desvio Padrão
Olimar	76,06	76,36	$\pm 1,99$
Basmati	75,30	74,77	$\pm 4,55$
Gládio	79,57	78,16	$\pm 3,24$
Carnise	74,58	73,41	$\pm 2,36$
Ariete	78,52	77,13	$\pm 1,07$
Glutinoso	80,58	80,58	$\pm 3,21$
Coplantio	82,82	76,19	$\pm 2,84$
Coplantio Integral	77,37	76,83	$\pm 2,21$
Guadamar	79,06	78,82	$\pm 1,39$
Suriname	83,16	82,58	$\pm 1,40$
Thai Hom-Mali	76,22	72,04	$\pm 1,70$
Ronaldo	78,34	78,26	$\pm 1,37$
Pusa Vaporizado	79,92	79,84	$\pm 0,52$
Low GI	81,37	81,37	$\pm 0,33$
VM	80,20	80,12	$\pm 1,20$
VM Vaporizado	81,76	81,76	$\pm 2,42$
Pão Branco Fresco	52,80	52,23	$\pm 2,28$

Para todas as variedades analisadas os valores registados de amido total estavam, na sua maioria, contidos nos limites que eram descritos na literatura. Os valores que tiveram menor concordância com os esperados foram os das amostras Carnise e Thai Hom-Mali, registando 73,41% e 72,04%, respetivamente, dada a gama de amido que é esperada para o arroz (75% a 85%). De salientar também os resultados dos pares de amostras Coplantio/Coplantio Integral e VM/VM Vaporizado. No caso do primeiro par eram esperadas diferenças, visto que se trata da mesma variedade, com a diferença de que a amostra integral não sofreu a ação de branqueamento (remoção da sêmea, durante o

processo industrial) e que, portanto, se iria refletir numa alteração das percentagens relativas no grão, graças à presença de fibra. Como as diferenças não são significativas, nada podemos afirmar a este respeito. No caso do segundo par de amostras, ao qual era esperado um conteúdo semelhante em amido, obtiveram-se diferenças, de cerca de 1%, que ainda assim não são significativas e, portanto, não vão contra o que era esperado.

Por último podemos avaliar o valor obtido na amostra de pão branco fresco. Esta registou 52,23% de conteúdo de amido pela massa total de amostra. Este valor encontra-se em concordância com toda a informação que foi investigada na literatura (57,58) e, portanto, não levantou qualquer dúvida o seu valor.

Tanto neste método, como no utilizado para os testes de cinética de hidrólise, foi necessária uma otimização do método, pois os resultados que estavam a ser obtidos não se revelaram os mais corretos. Para o caso da determinação do conteúdo de amido total os valores que foram obtidos, primeiramente, estavam bem abaixo do que os previstos na literatura. Na tabela 6 podemos observar os primeiros valores de amido total obtidos para algumas das amostras.

Tabela 6. Valores de amido total, de algumas variedades, recorrendo à dispersão, não bem-sucedida, do amido com hidróxido de potássio e ação da amiloglucosidase.

Amostras	Massa de amido Determinado (mg)	%
Olimar	28,98	49,37
Basmati	24,60	54,18
Guadamar	22,57	46,45
Glutinoso	13,25	26,23
Carnise	31,12	48,86
Ariete	32,28	52,40
Suriname	24,41	52,61
Ronaldo	27,36	55,73
Gládio	21,19	51,19

A obtenção destes valores de amido total foi feita com um método diferente, que consistia em dispersar o amido em hidróxido de potássio, que iria desorganizar as estruturas cristalinas do amido e permitir a atuação da amiloglucosidase. Com a atuação de uma solução de amiloglucosidase em excesso para garantir a conversão de todo o

amido em glucose. Esta análise não foi concretizada para todas as amostras pois os valores que estavam a ser obtidos não se enquadravam na gama que era espectável. Como se pode ver na tabela acima, os valores obtidos encontravam-se numa gama demasiado baixa. De um modo geral os valores de amido no arroz rondam os 75-85% (9,38,39), da massa do grão, e os valores obtidos variaram entre 26,23%, para a amostra que obteve o valor mais baixo, e 55,73%, para a amostra que obteve o valor mais alto. Deduziu-se que os valores obtidos foram baixos devido a uma dispersão ineficiente do amido. Isto porque após o passo da dispersão do amido se verificava a presença de pequenos grânulos nos recipientes que continham a amostra em contacto com o hidróxido de potássio. Por consequência desta ineficaz dispersão, a atuação da enzima amiloglucosidase não iria ser completa e daí os resultados registados serem mais baixos que o esperado.

Excluiu-se assim esta via para a determinação do conteúdo de amido total e optou-se por outro método que recorria também à ação da enzima α -amilase para degradação das estruturas maiores de amido. Esta é uma enzima endo-atuante e portanto iria degradar o amido em oligossacarídeos e dextrinas que, por sua vez, seriam alvos mais fáceis para a atuação da amiloglucosidase.

4.2. Valores de amilose

Analisando os resultados obtidos na determinação da amilose, nas amostras de arroz, pode observar-se que no leque de amostras existiam arrozes diferentes em termos de percentagem (em peso seco). Os valores registados continham, tanto baixo teor, como alto teor de amilose (Tabela 7). A gama de resultados que obtivemos foi desde os 0,28%, para a amostra de arroz Glutinoso, até aos 24,76%, para a amostra de arroz Gládio. De acordo com os dados bibliográficos, as percentagens de amilose podem variar entre não haver conteúdo de amilose até atingir cerca de 37% (12,59). Com este dado pode-se verificar que os valores que foram obtidos se encontram dentro da gama de valores esperados para conteúdo de amilose no amido. O estudo de *Koutrobas* e outros (2004) contemplou a determinação dos valores de amilose de amostras de arroz de várias origens (59). De entre essas amostras estão inseridas algumas amostras que foram usadas no nosso estudo e, portanto, podemos usar como referência mais direta para comparação e avaliação dos nossos valores. As amostras que coincidiram foram:

Ariete, Guadamar e Basmati. O valor que obtivemos para as nossas amostras foi 17,16%, 17,52% e 20,58%, respetivamente. Os valores que a literatura mostra foram 17,8% para a variedade Ariete, 18,4% para a variedade Guadamar e 21,9% para a variedade Basmati. Da comparação entre os resultados podemos verificar que os valores que nós obtivemos estavam muito próximos dos valores na literatura, não atingindo uma diferença de 2%, e em termos relativos mantiveram-se concordantes. Noutro estudo, de Vidal e outros (2007) (60), foram analisadas as amostras Thai Hom-Mali, Suriname, Basmati e Ariete, obtendo 13,9%, 22,8%, 23,4% e 18,4%, respetivamente. Mais uma vez, a comparação dos resultados mostra que estão muito próximos e que estão concordantes com a literatura.

Nas variedades Coplantio e Coplantio Integral registou-se uma diferença nos valores de amilose coerente, visto que a variedade Coplantio Integral, por não ter sofrido a ação de branqueamento, ainda reteve uma grande porção de fibras e proteínas da sêmea do arroz e, portanto, tem uma percentagem menor de conteúdo de amilose.

É de realçar também a amostra de arroz Glutinoso que obteve um valor muito baixo de amilose, facto esse que era esperado pois já tínhamos conhecimento que esta variedade pertencia a um grupo de arroz denominados cerosos (*waxy*), conhecidos por terem um conteúdo de amilose muito baixo ou inexistente, e o seu valor veio comprovar isso mesmo.

Tabela 7 - Tabela com os valores de amilose das amostras de arroz.

Variedade	% Peso seco			Média	Desvio Padrão
Basmati	21,43	20,02	20,28	20,58	±0,75
Olimar	23,37	24,69	22,40	23,49	±1,15
Guadamar	18,44	17,29	16,84	17,52	±0,82
Glutinoso	0,23	1,01	0,00	0,41	±0,53
Gládio	25,99	24,14	24,14	24,76	±1,07
Carnise	24,04	25,72	22,63	24,13	±1,55
Low GI	22,68	22,06	21,97	22,24	±0,38
Ariete	17,55	16,66	17,28	17,16	±0,45
Suriname	23,61	21,60	21,51	22,24	±1,19
Pusa Vaporizado	23,85	23,23	23,67	23,59	±0,32
Coplantio	19,00	19,52	18,73	19,08	±0,40
Coplantio Integral	10,39	10,74	10,39	10,51	±0,20
Thai Hom-Mali	13,05	13,32	14,62	13,66	±0,84
VM	18,75	19,89	19,01	19,22	±0,59
VM vaporizado	16,81	16,81	16,46	16,69	±0,20

Ronaldo	16,79	16,53	16,70	16,67	$\pm 0,14$
----------------	-------	-------	-------	--------------	------------

4.3. Digestão *in vitro* do amido

A primeira parte do estudo consistiu em averiguar os comportamentos de hidrólise do amido em condições semelhantes ao que acontece *in vivo*. Obtiveram-se curvas de hidrólise para as 16 amostras de arroz fornecidas pela empresa e para a mostra de referência. Os primeiros valores de amido digerido nestes ensaios deram valores abaixo do que era esperado em termos percentuais (10). Com a aplicação do modelo de Goñi e outros (2007) (16) verificou-se que a maioria das amostras obteve valores da curva de hidrólise abaixo, ou semelhantes, à curva da amostra de referência, e que os valores de amido hidrolisado eram demasiado baixos, não atingindo os 75% para a amostra que obteve os valores mais altos (Gráfico 1). Como era sabido que o arroz tinha uma boa digestibilidade relativa, estes valores causaram alguma controvérsia, principalmente se atentarmos à variedade Glutinoso, que por ter um baixíssimo teor de amilose, está associada a um índice glicémico maior e, por conseguinte, uma curva de hidrólise mais alta (61). Concluiu-se assim que as primeiras curvas de hidrólise das variedades não estavam a ocorrer na extensão total e desejada.

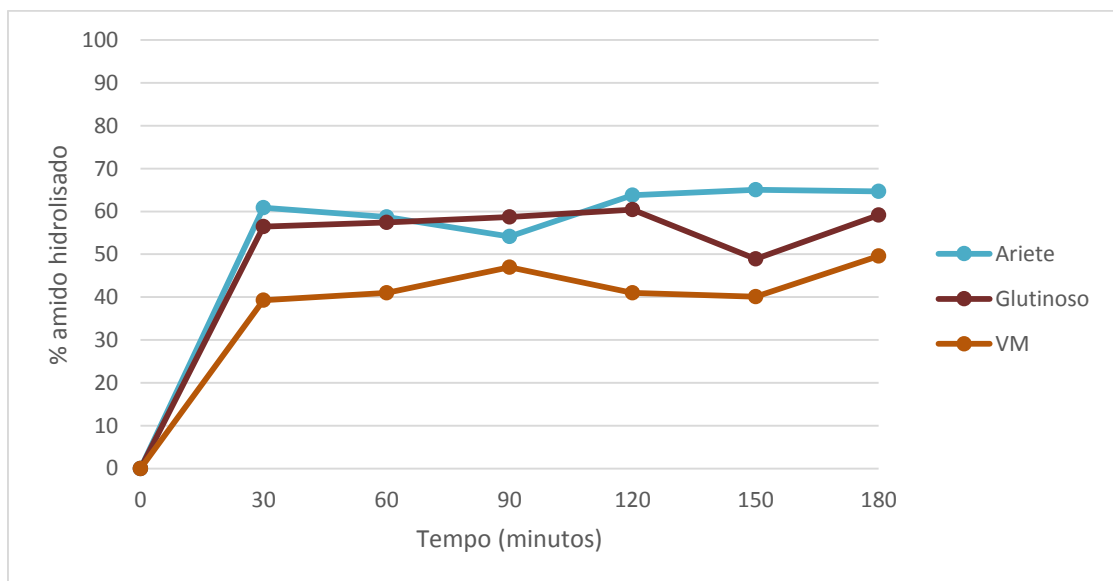


Gráfico 1 - Curvas de hidrólise, não bem-sucedidas, de três variedades, com a-amilase a 37°C das variedades de arroz.

Tal como ocorreu com a determinação do amido total, a enzima α -amilase não estava a hidrolisar o amido de forma correta. Foi verificado o pH dos tampões utilizados e, ultimamente, a temperatura a que ocorria a hidrólise. Pela informação de todos os autores da bibliografia (que utilizaram enzimas do mesmo fornecedor que as nossas), a hidrólise era feita a 37°C. Testou-se a temperatura de 20°C recomendada pelos fornecedores para determinar a atividade enzimática, e a partir daí obtivemos resultados mais satisfatórios, tanto para a determinação de amido total, como para a determinação da cinética de hidrólise das variedades.

Outro aspeto importante a referir nestas curvas de hidrólise é o facto não apresentarem o comportamento usual de uma curva de hidrólise, onde a concentração iria tender a aumentar ou manter ao longo do tempo. Por muitas vezes as curvas mostraram decréscimos, nem sempre significativos, na percentagem de amido hidrolisado ao longo do tempo. Para tal conduziu-se um ensaio para se averiguar esta tendência, que será apresentado no final deste subcapítulo.

Carnise é uma variedade do tipo risoto, que é um grão com um aspeto mais compacto. A curva de hidrólise desta variedade (Gráfico 2) atingiu os 25,87% de amido hidrolisado aos 180 minutos e representa a amostra com menos amido hidrolisado. Esta variedade tem um teor de amilose de 24,13%, sendo das que apresenta valor mais elevado. De acordo com o estudo de Jain e outros (2012) (61), as variedades com maior teor de amilose vão ter uma resposta glicémica menor, e este resultado vai de encontro com o mesmo.

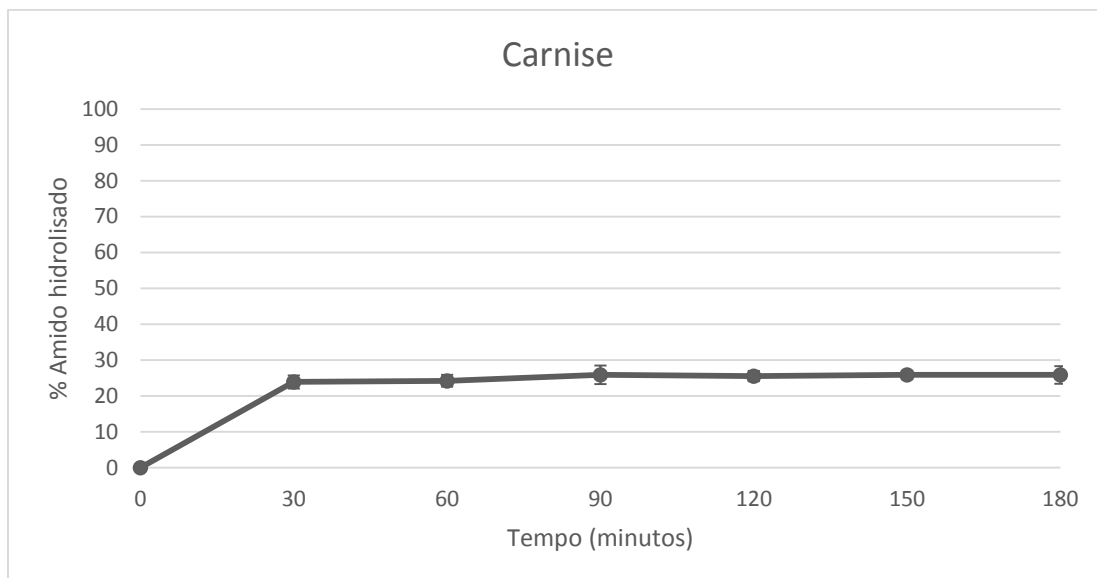


Gráfico 2 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Carnise.

O arroz da variedade Suriname é outro arroz do tipo agulha que registou na curva de hidrólise um valor máximo de 42,53% (Gráfico 3). A amostra mostrou que tem uma hidrólise mais lenta, pois no intervalo entre os 30 e os 60 minutos ainda aumentou cerca de 16%. Esta variedade também obteve uma curva com valores baixos e, atentando ao valor do teor de amilose desta, que registou 22,24%, também se pode verificar que este teve influência na resposta glicêmica da variedade.

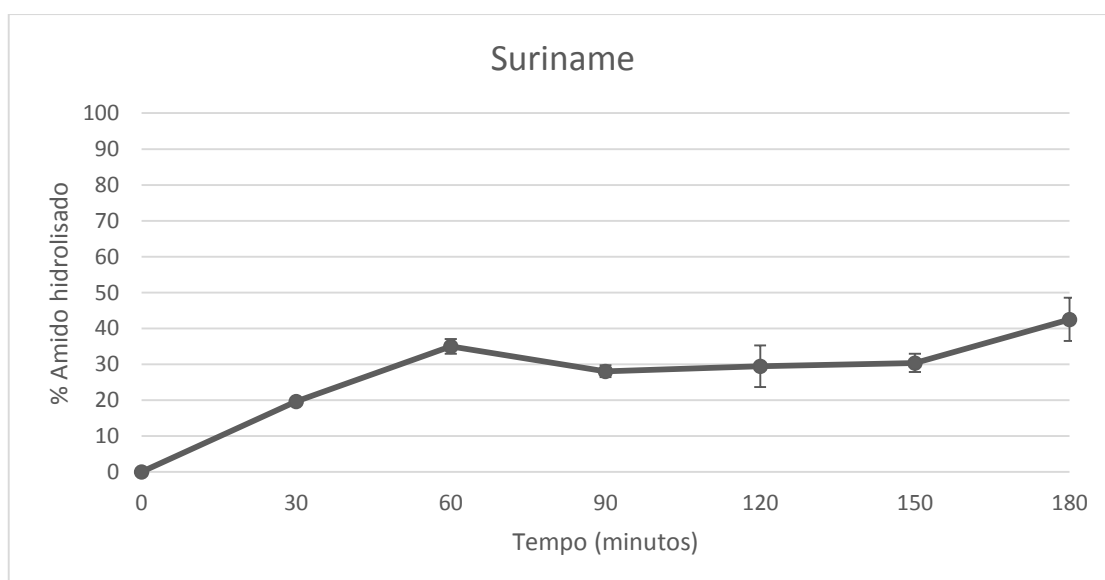


Gráfico 3 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Suriname.

A variedade Coplantio trata-se de outro arroz, também do tipo agulha, que registou o valor máximo de 39,38% de amido hidrolisado (Gráfico 4). Segundo *Eggum* e outros (1993) (51) o processamento térmico, como a vaporização, de arroz com altos teores de amilose reduz a sua digestibilidade pelo aumento do conteúdo de amido resistente.

Esta variedade tinha sido submetida a um processo de vaporização que, aliado ao facto de ter um teor de amilose, relativamente alto (19,08%), levou a uma hidrólise do amido menor.

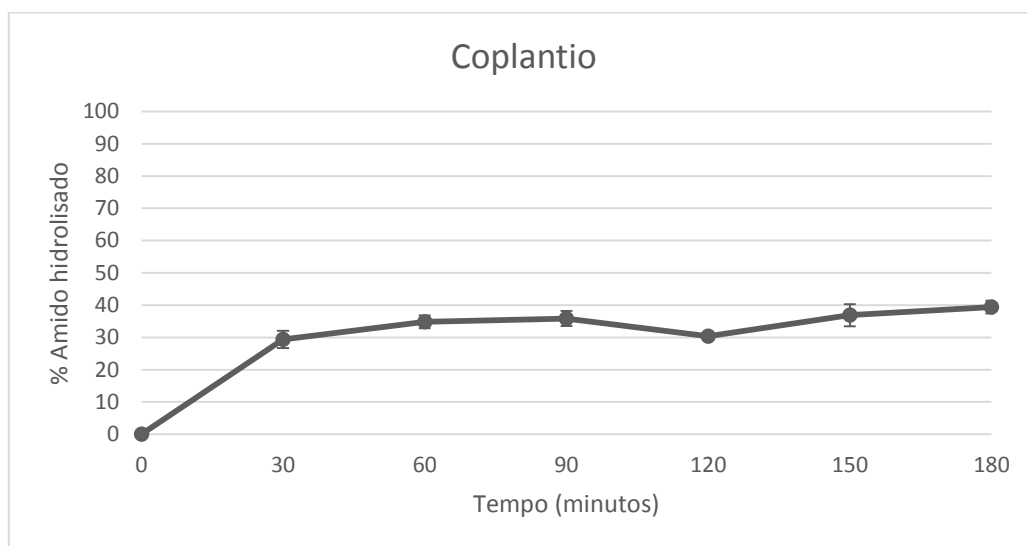


Gráfico 4 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Coplantio.

A variedade Gládio é um arroz do tipo agulha e apresentou uma curva de hidrólise com valores baixos (Gráfico 5), que é bom do ponto de vista da resposta glicémica. É uma variedade com alto teor de amilose (o mais alto registado nas amostras), que de acordo com o reportado na literatura, pode justificar a curva de hidrólise com valores baixos.

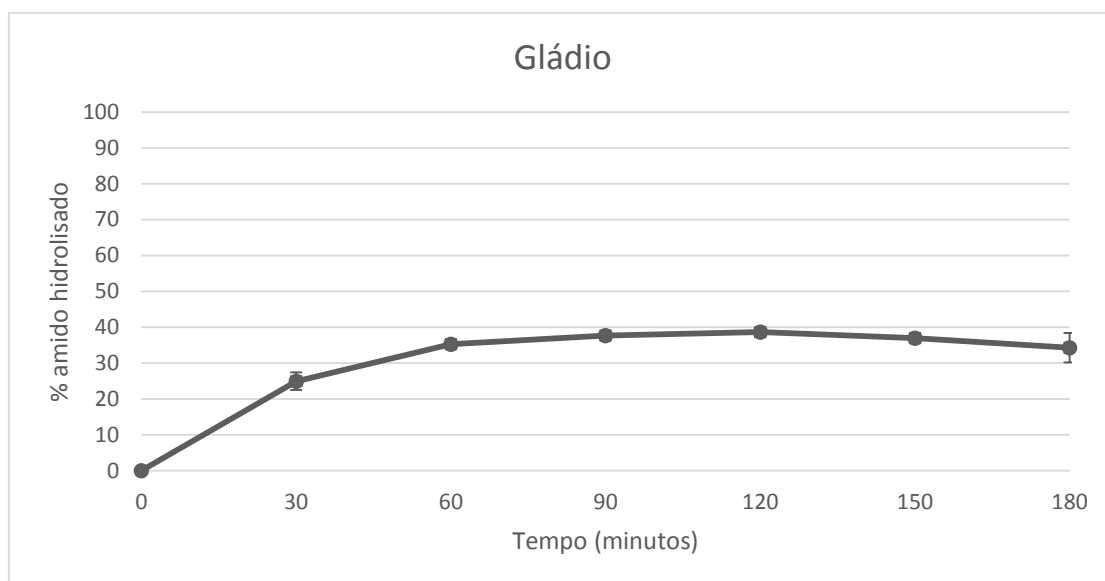


Gráfico 5 - Curva de cinética de hidrólise de amido da variedade Gládio.

A variedade Ronaldo trata-se de um arroz do tipo carolino e cuja curva revelou valores de amido hidrolisado máximo de 57,83% (Gráfico 6). Apesar de ter tido um valor máximo de amido hidrolisado mais alto, que as anteriores amostras, é de notar que esta variedade teve um aumento, ao longo do tempo, mais vagaroso, resultando assim numa área debaixo da curva baixa. Este arroz tinha a particularidade, como visto no trabalho desenvolvido em paralelo por Alexandre Sérgio (2013) (54), de ter o maior tempo de cozedura de todas as variedades. Este fator poderá ser um indicador da indisponibilidade do amido, desta variedade, durante a hidrólise.

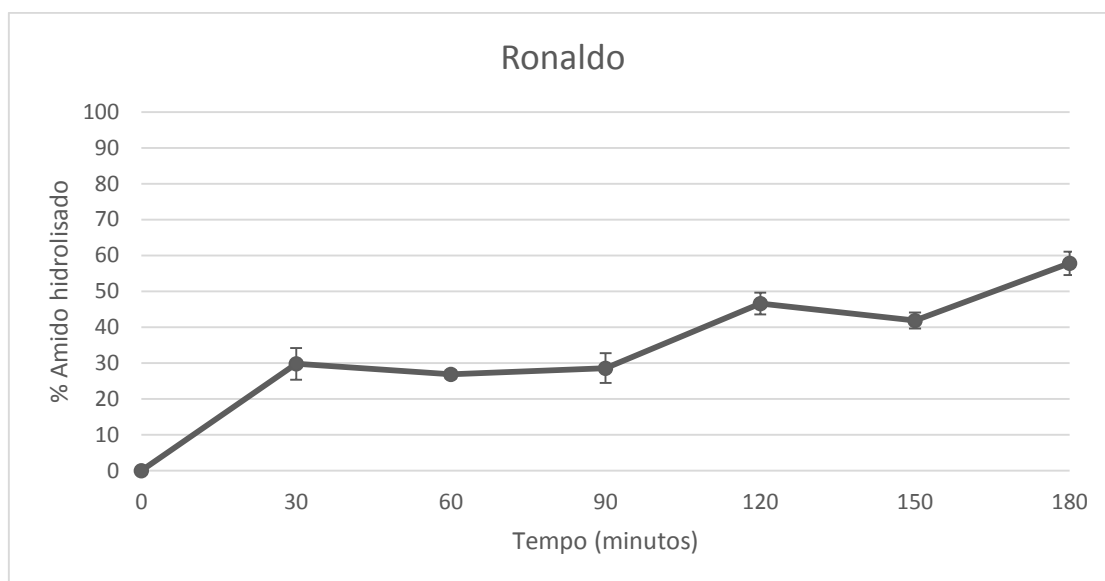


Gráfico 6 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Ronaldo.

O arroz Basmati é também um arroz do tipo agulha com a particularidade de ser aromático. Esta variedade atingiu os 50,50% de amido hidrolisado, tendo registado uma subida, algo lenta e, gradual do amido hidrolisado (Gráfico 7). Registou 29,79% de amido digerido aos 30 minutos, tendo aumentado este valor em apenas cerca de 20% nos restantes 150 minutos. Este aumento gradual resultou, portanto, numa curva de hidrólise com uma área relativamente baixa.

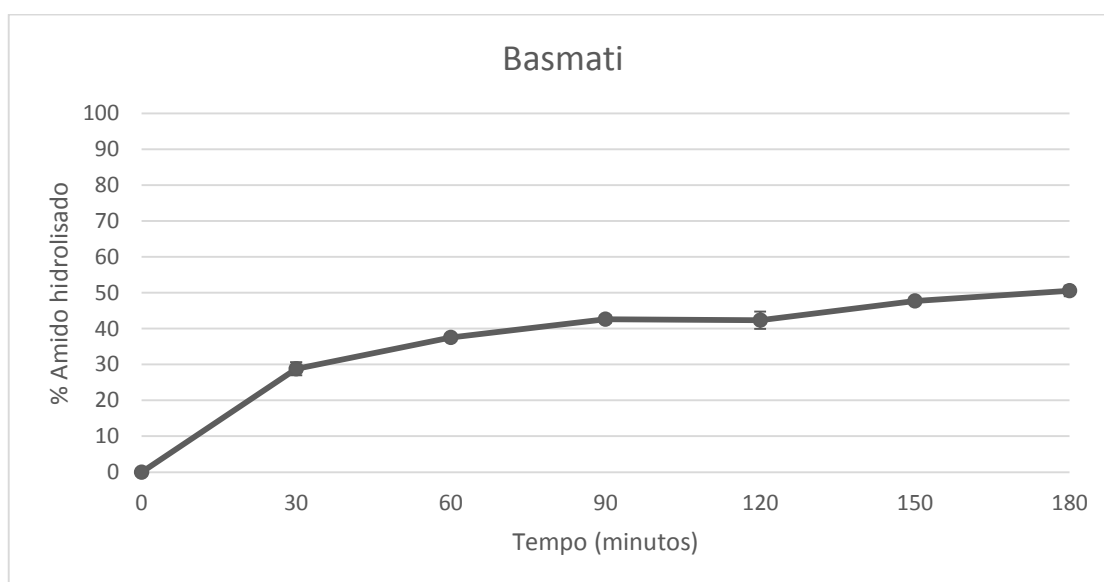


Gráfico 7 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Basmati.

O amido do arroz da variedade Pusa Vaporizado estava referenciado como um arroz de baixo índice glicémico. Obteve um valor máximo de amido hidrolisado de 54,42%, que é um valor médio, mas ainda assim a área da curva de hidrólise apresenta um valor ainda considerado baixo (Gráfico 8). Isto é possível graças ao aumento de amido hidrolisado ter sido lento. Aos 30 minutos apenas tinham sido hidrolisado 29,64% do amido sendo que cerca de 25% foi hidrolisado nos restantes 150 minutos de hidrólise.

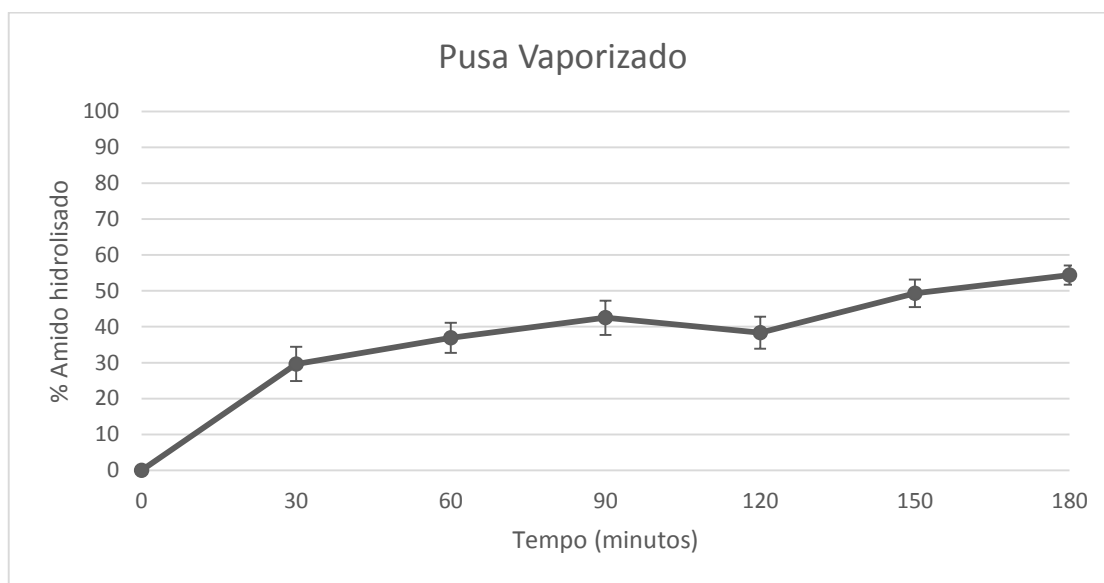


Gráfico 8 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Pusa Vaporizado.

A variedade Coplantio Integral teve uma subida bastante lenta até aos 60 minutos, tendo registado valores de amido até 25,81%, mas acentuou a partir dos 90 (Gráfico 9). A partir desse ponto aumentou mais depressa, atingindo um valor máximo de 67,61%, que é um valor já considerado alto.

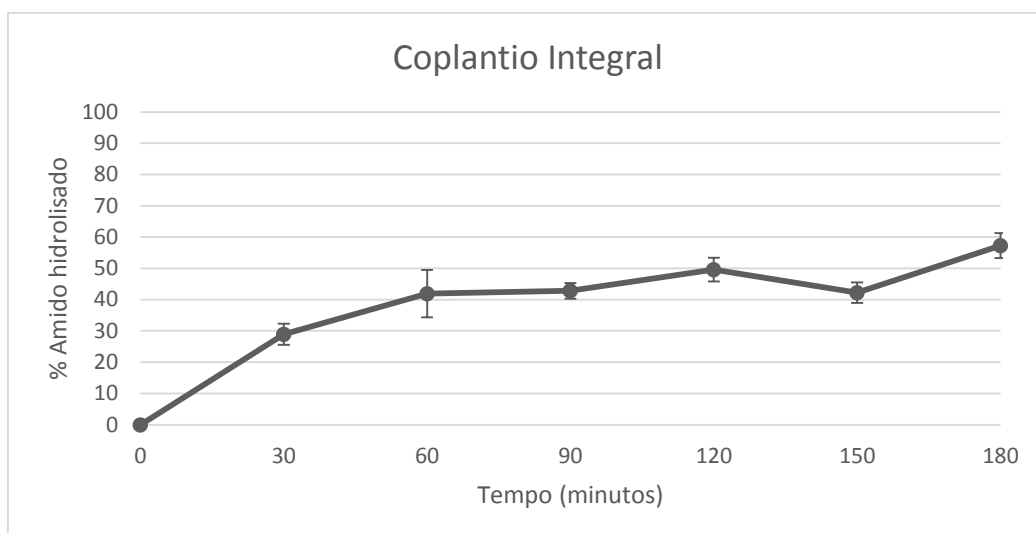


Gráfico 9 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Coplantio Integral.

A variedade Olimar também é um arroz do tipo agulha, cuja curva sugeriu uma digestão ligeiramente maior do amido, ainda assim, não ultrapassando os 46,78% de amido digerido (Gráfico 10). A diferença está no aumento do amido hidrolisado, que aos 60 minutos de hidrólise já mostrava um valor muito próximo do máximo que foi atingido nos 180 minutos.

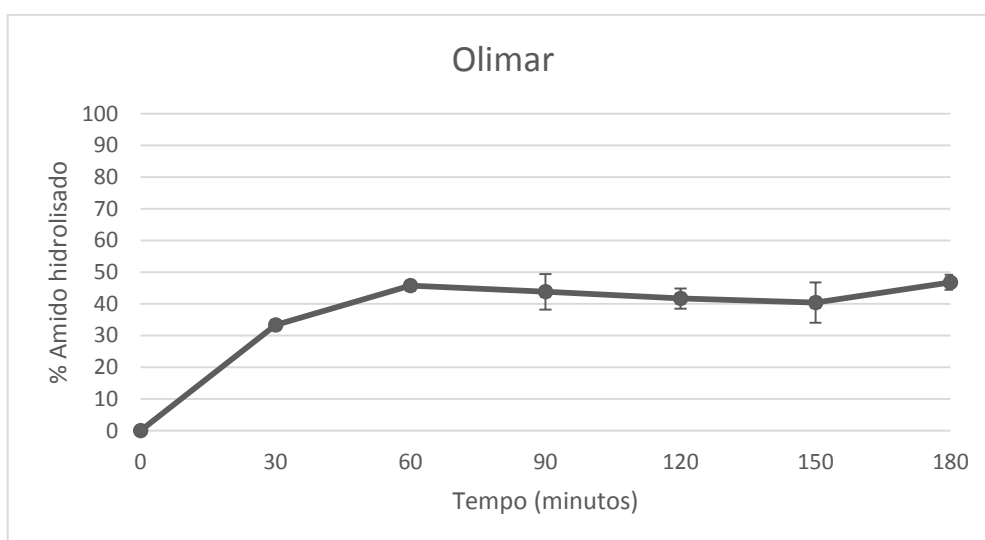


Gráfico 10 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Olimar.

A curva de hidrólise da amostra de referência, Pão Branco Fresco, mostrou um aumento, de amido digerido, gradual e lento (Gráfico 11). Aos 30 minutos 23,63% do amido tinha sido digerido, e à medida que foi decorrendo a hidrólise atingiu o valor final de 67,61%, aos 180 minutos. Apesar de ter atingido valores altos de amido

hidrolisado, como teve uma subida lenta dos valores da curva, a área desta é bastante baixa comparada com muitas amostras de arroz.

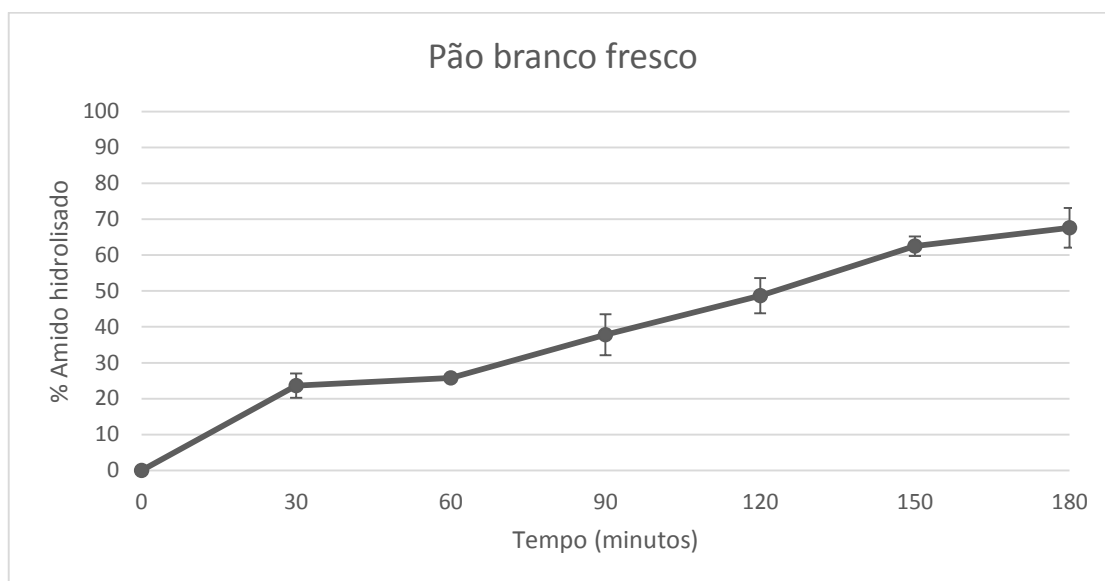


Gráfico 11 - Curva de cinética de hidrólise do Pão Branco Fresco.

A variedade de arroz Guadamar, que é um arroz médio, apresentou uma curva com valores a atingir um máximo de 46,78% (Gráfico 12). Ainda que não tenha sido o valor registado mais alto, de amido digerido, esta variedade atingiu este valor logo aos 30 minutos da hidrólise, significando que é uma variedade com uma rápida digestão. De acordo com o que se sabe desta variedade, tendo um teor de amilose médio alto, justifica-se o comportamento da curva de digestão.

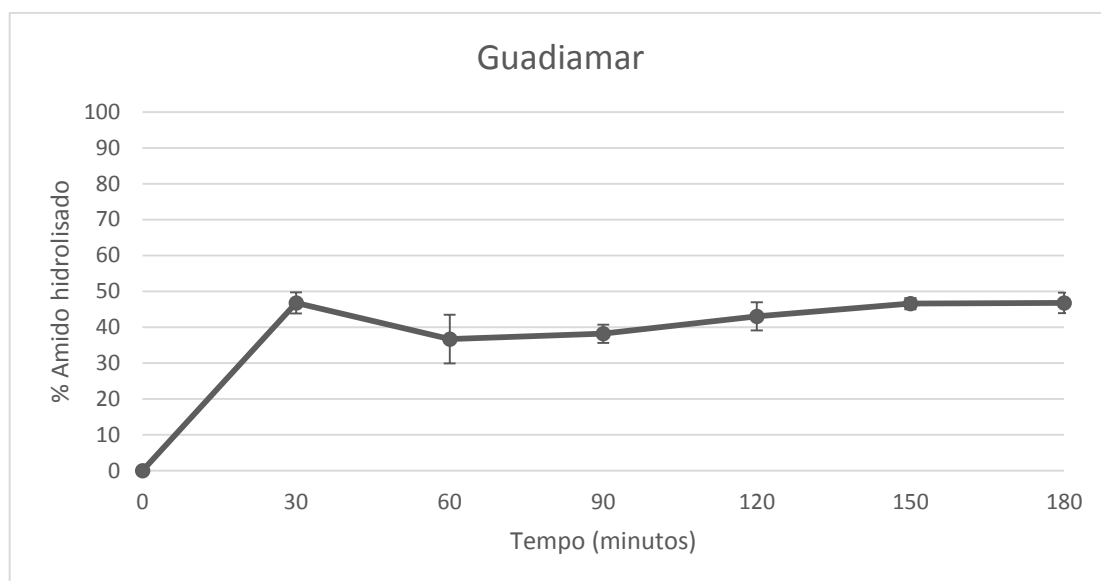


Gráfico 12 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Guadamar.

A variedade, designada Low GI, também veio referenciada como sendo de baixo índice glicémico. Pelo comportamento da sua curva de hidrólise (Gráfico 13), verificou-se que não tinha o comportamento esperado, obtendo uma área debaixo da curva mais alta que a da amostra de referência. Esta registou valores máximos de amido hidrolisado de 61,34%. Verificou-se que aos 120 minutos já tinha atingido o máximo de amido digerido.

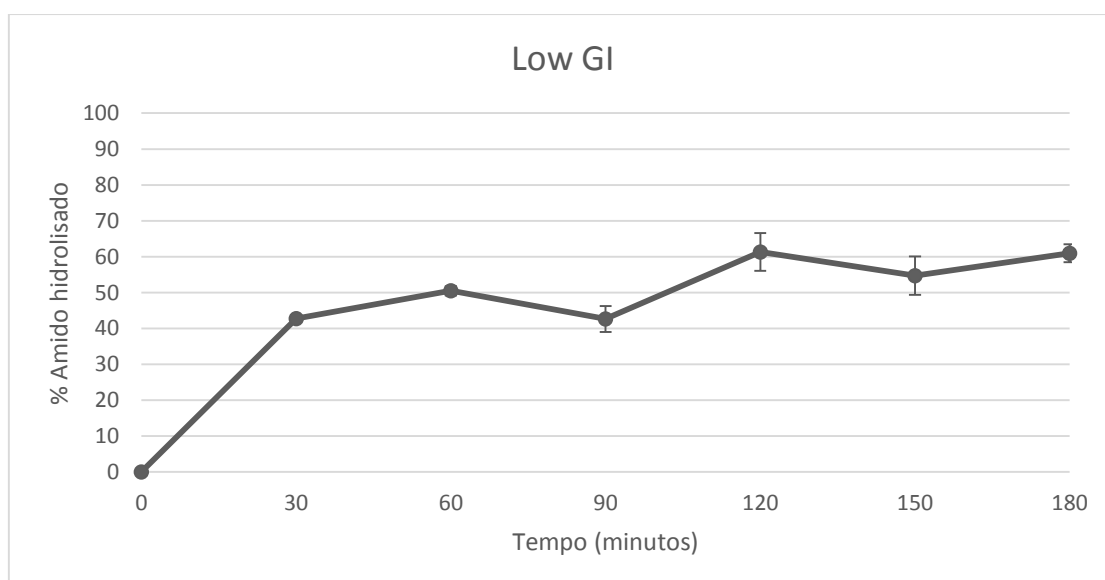


Gráfico 13 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Low GI.

A variedade Thai Hom-Mali trata-se de outro arroz aromático, que também é agulha e com a composição relativamente diferente do Basmati. Esta variedade apresentou valores bastante mais elevados que o Basmati, sendo que o valor máximo foi de 68,07% de amido hidrolisado (Gráfico 14). Também se salienta o facto de ter atingido um valor alto de amido digerido logo aos 30 minutos, denotando que é uma variedade com uma digestibilidade rápida.

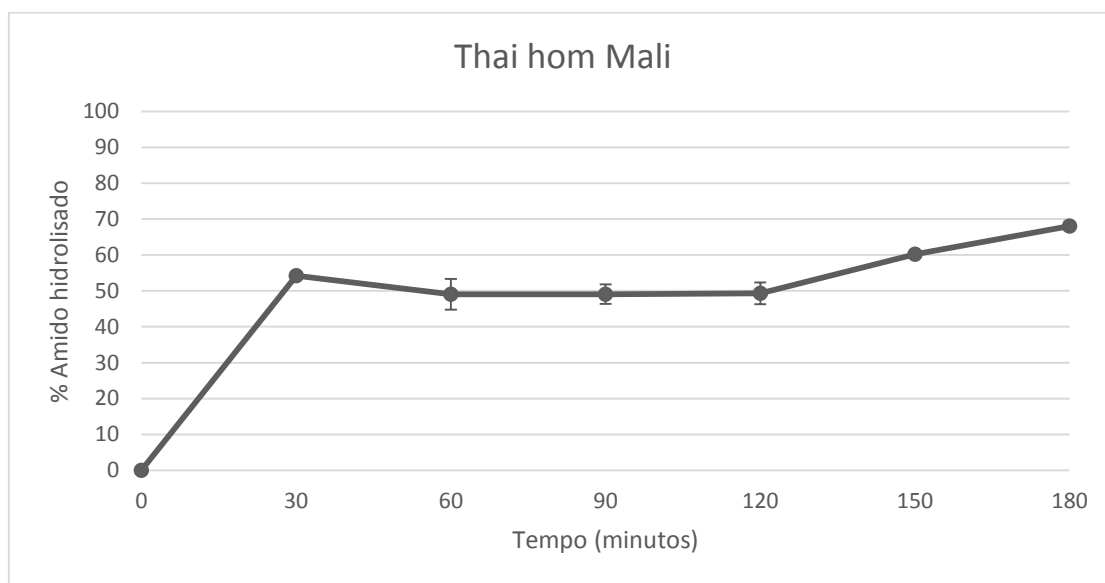


Gráfico 14 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Thai Hom-Mali.

O arroz da variedade VM é um arroz agulha e apresentou um valor máximo de amido digerido, de 71,35%, logo aos 60 minutos (Gráfico 15). Esta variedade não só obteve um valor máximo muito alto, como também o atingiu depressa, mostrando que a variedade tem um digestibilidade bastante rápida e acentuada.

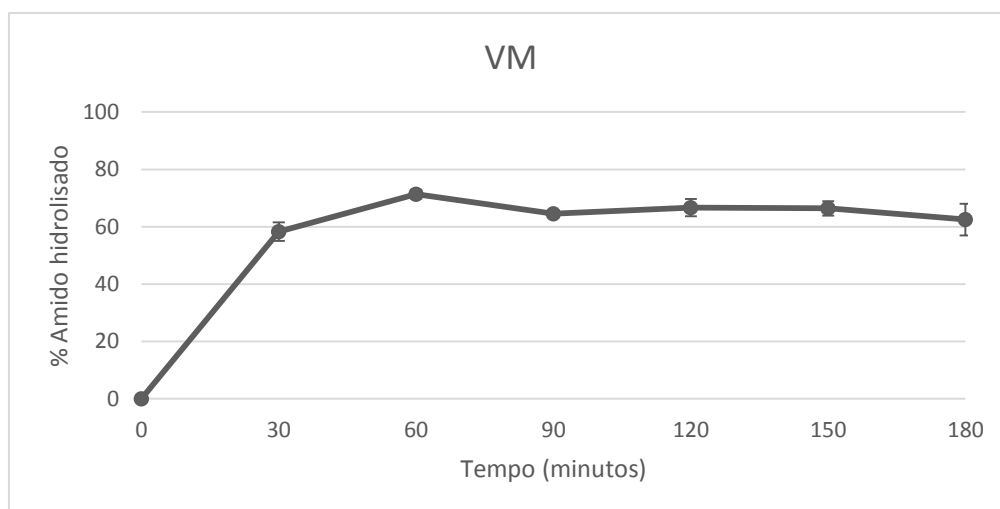


Gráfico 15 - Curva de cinética de hidrólise da variedade VM.

O arroz Glutinoso tem a particularidade de ser um arroz com baixo conteúdo de amilose, muito mais baixo que nas outras variedades. A curva de hidrólise atingiu rapidamente valores altos de amido digerido (Gráfico 16), tendo atingido 81,89% e 82,42%, aos 30 e 60 minutos de hidrólise, respetivamente. Atentando ao seu conteúdo de amilose baixo (0,41%), podemos considerar que a curva da amostra se comportou como era esperado, visto que um baixo teor de amilose aumenta a digestibilidade do arroz, como já referido anteriormente.

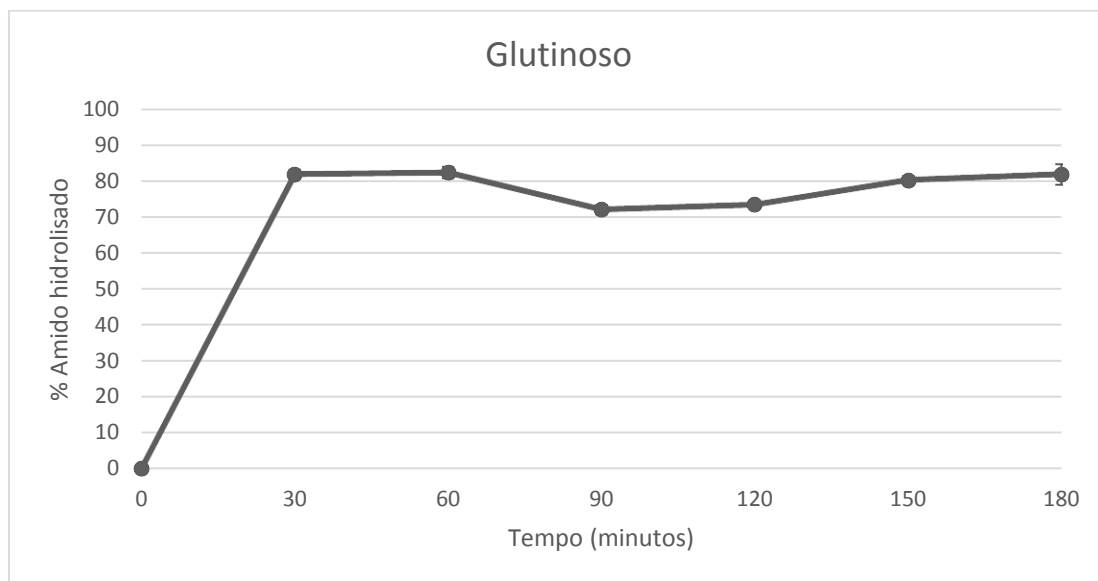


Gráfico 16 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Glutinoso.

Este ensaio foi feito com a variedade VM mas, neste caso, tendo sido sujeita a um método de processamento de arroz que é a vaporização. À partida esperava-se que o valor desta curva (Gráfico 17) fosse inferior, à da amostra não vaporizada, visto que este tratamento é conhecido por baixar indiretamente o Índice Glicémico do arroz, por aumento de amido resistente (51). Isto porque ao iniciar a gelatinização do amido, não extensivamente, quando se der o fenómeno de retrogradação vão ocorrer formações cristalinas diferentes do amido original, que são mais, ou totalmente, resistentes à digestão. A curva teve um crescimento inicial lento, mas atingiu aos 180 um valor extremamente alto, de 98,22%, tendo sido quase todo o amido digerido.

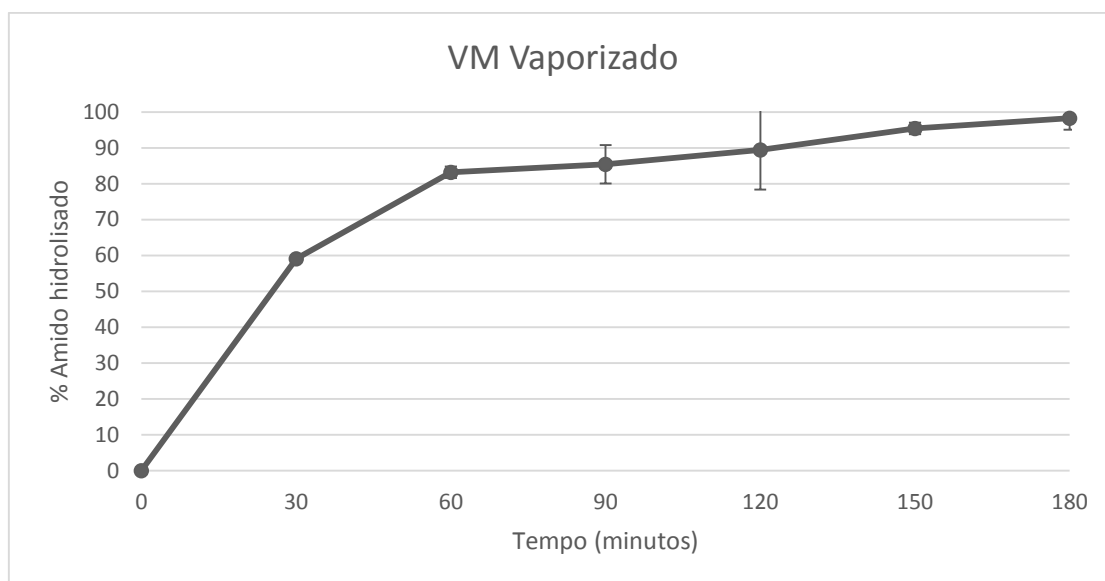


Gráfico 17 - Curva de cinética de hidrólise da variedade VM vaporizado.

A curva de hidrólise da variedade Ariete (Gráfico 18), que é um arroz carolino, obteve os valores mais altos de todas as amostras. Esta variedade atingiu no seu ponto máximo 86,62% aos 150 minutos, mas já na medição dos 30 minutos registou 81,02% de amido hidrolisado. Esta variedade tinha um conteúdo de amilose de 17,16% (médio-alto) e registou um tempo de cozedura que não foi dos mais baixos. Apesar disto mostrou uma boa e rápida digestibilidade do seu amido.

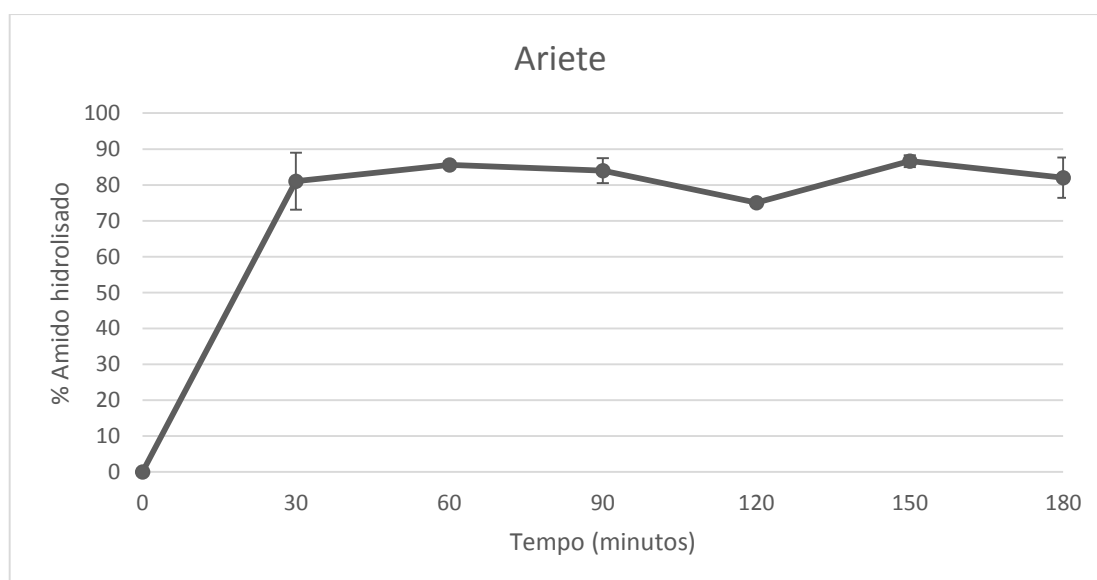


Gráfico 18 - Curva de cinética de hidrólise da variedade Ariete.

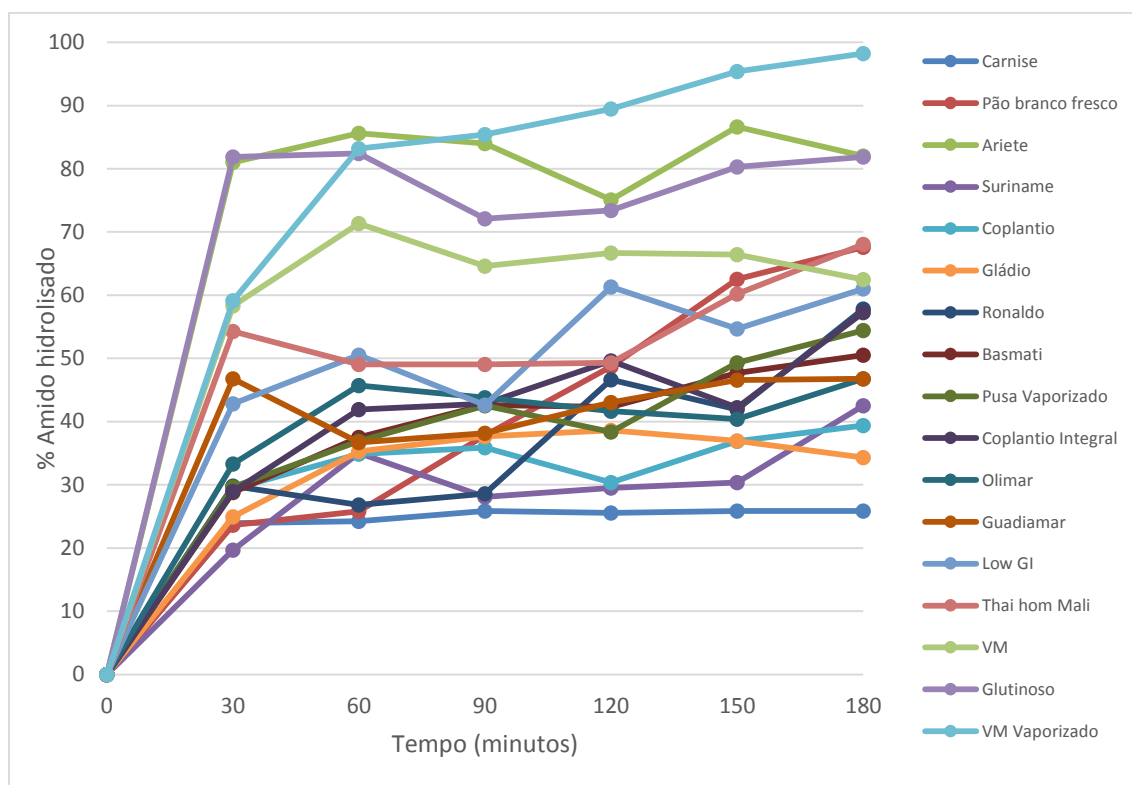


Gráfico 19 - Curvas de hidrólise de todas as variedades de arroz.

Um estudo de *Adachi* e outros (1984) (62) verificou que, em condições semelhantes às que foram usadas neste estudo, a amiloglicosidase adquiria atividade no sentido de condensar monómeros de glucose, formando maltose e/ou isomaltose. Para se averiguar se isto estava a acontecer na hidrólise, com a amiloglicosidase, fez-se um teste que consistiu em incubar uma solução de glucose com concentração conhecida e verificar se, com a incubação à temperatura de 60°C durante 45 minutos, havia variações na concentração de glucose. Verificámos que houve variações na ordem dos 1,22% a 5,31%, na concentração de glucose medida, após o período de incubação. A ordem das variações não é grande o suficiente, para explicar as variações obtidas nas curvas de hidrólise, mas pode ter contribuído para o comportamento não usual das curvas.

4.4. Determinação do índice glicémico

Após a obtenção das curvas, por integração numérica, foram calculadas as áreas debaixo da curva, de cada uma das amostras e da amostra de referência, o pão. As curvas de hidrólise foram mudadas para não terem os, não-usuais, decréscimos,

considerando o valor anterior quando a percentagem de amido decrescia. Para obter o Índice de hidrólise, para cada uma das amostras bastou fazer uma relação, em percentagem, entre cada uma das amostras e o pão. O índice glicémico foi então estimado pelo modelo de *Goñi* e outros (1997) (16).

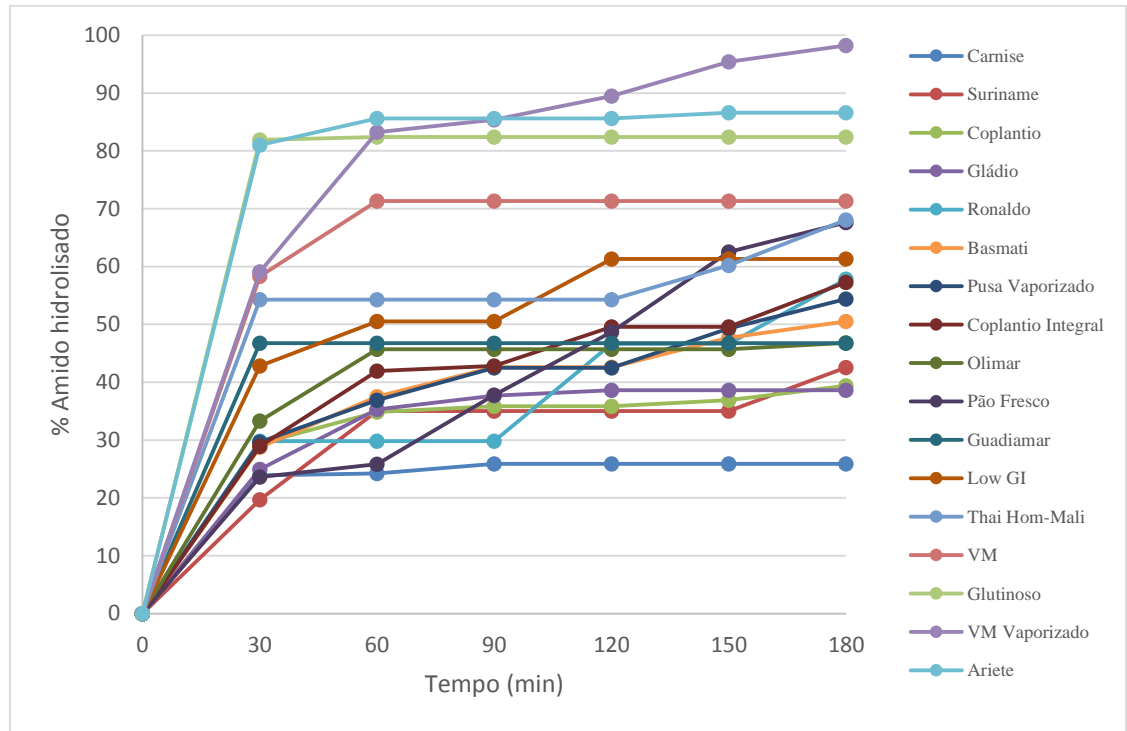


Gráfico 20 - Curvas de hidrólise de todas as variedades de arroz

Tabela 8 - Tabela com os valores de índice de hidrólise e de Índice Glicémico estimados para cada uma das amostras.

Amostra	IH	IG	Amostra	IH	IG
Carnise	60,18	72,75	Olimar	102,27	95,86
Suriname	75,99	81,43	Guadiamar	111,62	100,99
Coplantio	82,71	85,12	Low GI	126,83	109,34
Gládio	83,02	85,29	Thai Hom-Mali	134,73	113,67
Ronaldo	89,20	88,68	VM	162,94	129,16
Basmati	96,43	92,65	Glutinoso	196,35	147,51
Pusa Vaporizado	98,13	93,58	VM Vaporizado	196,95	147,84
Coplantio Integral	101,85	95,62	Ariete	202,43	150,84

Os valores de Índices glicémicos obtidos encontram-se dentro da gama que foi observada na bibliografia (8,9). A amostra com o valor mais baixo foi a variedade Carnise, obtendo o 72,75, e o valor mais alto correspondeu à variedade Ariete, obtendo 150,84. Pela análise dos valores pode-se verificar que as amostras Carnise, Suriname, Coplantio, Gládio, Ronaldo, Basmati, Pusa Vaporizado, Coplantio Integral e Olimar tiveram um índice glicémico abaixo da amostra de referência, sendo resultados positivos na perspectiva da investigação de alimentos, neste caso arroz, de baixo índice glicémico. Ainda assim, a variedade que se pode enquadrar mais na categoria de arroz de baixo índice glicémico será a variedade Carnise que tem um valor bem abaixo das restantes. De entre estas variedades, a maioria tinha um conteúdo de amilose elevado, que poderia justificar valores de índice glicémico baixos, exceto as variedades Ronaldo e Coplantio Integral. Quanto à variedade Ronaldo é importante referir que, de todas as amostras, esta registou o maior valor de tempo de cozedura. Este aspeto pode indicar que o amido desta variedade tem uma estrutura cristalina compacta que retarda o tempo de cozedura e poderá, ao mesmo tempo, interferir com a digestão do amido (60,63).

As variedades Guadamar, Low GI, Thai Hom-Mali, VM, Glutinoso, VM Vaporizado e Ariete obtiveram valores acima da amostra de referência e portanto são caracterizadas como variedades com alto índice glicémico. A variedade Thai Hom-Mali, com um conteúdo médio-baixo de amilose, quando comparado com as restantes variedades, obteve um valor de índice glicémico alto, como seria de antecipar. A variedade Low GI veio referenciada como arroz de índice glicémico baixo, mas, pela curva e valor de índice glicémico estimado, tal não se verificou. A variedade Glutinoso tinha sido apontada como possível variedade de alto índice glicémico, graças ao seu conteúdo em amilose (quase inexistente) que, como já referido mais acima, iria levar a uma maior digestibilidade do amido. Tal facto foi, portanto, verificado. O arroz Ariete por sua vez registou o valor mais alto de índice glicémico e encontra-se um pouco acima da gama que foi observada na bibliografia. Apesar disso, como as variedades são diferentes, não se pode inferir se o valor está incorreto, ou se, simplesmente a amostra representa, para nosso conhecimento, um novo máximo de valor de índice glicémico de arroz.

4.4.1. Diferenças entre o índice glicémico de arroz integral e branqueado

Estas variedades foram escolhidas para verificar se a manutenção da camada exterior do grão, que é rica em fibras, poderia diminuir o índice glicémico do arroz. Era esperado que o arroz integral obtivesse uma curva de hidrólise com valores mais baixos e consequente menor índice glicémico. A presença de fibras e lípidos no arroz dificultam a digestão do amido, tornando-a mais lenta ou mesmo impedindo-a, graças aos complexos lípido-amido e/ou complexos fibra-amido. O resultado obtido mostrou o contrário. Tal poderá ser explicado, porque este método de determinação de índice glicémico, não mimetiza a absorção intestinal após a digestão do amido, ou seja, a resposta glicémica do arroz integral pode ser apenas diminuída na fase da absorção intestinal.

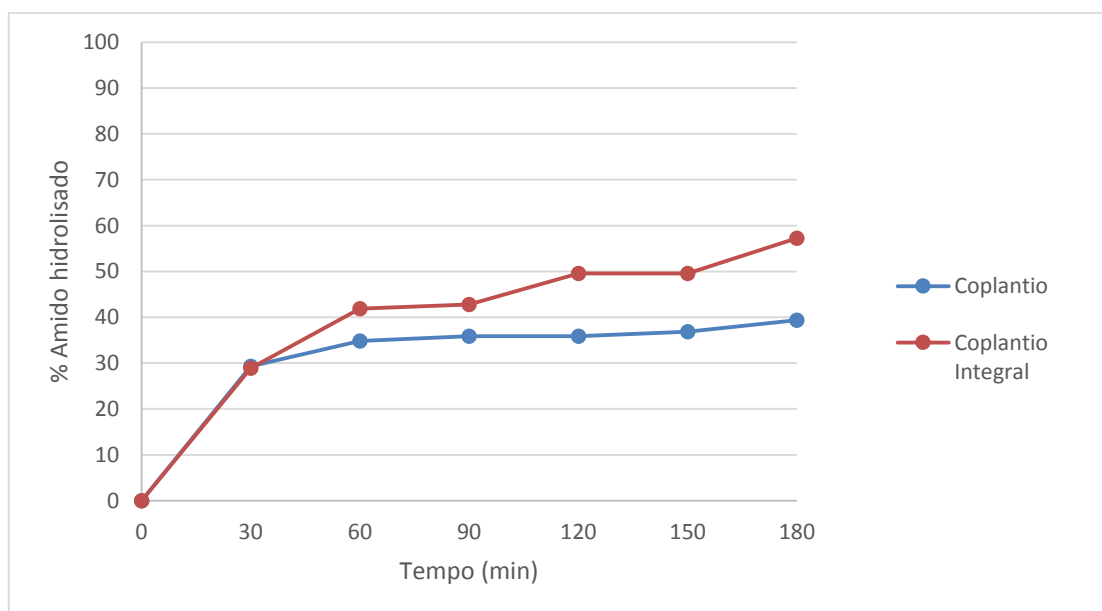


Gráfico 21 - Gráfico a demonstrar as diferenças entre o índice glicémico de arroz integral e branqueado

4.4.2. Diferenças entre o índice glicémico de arroz vaporizado e não vaporizado

Os resultados do teste da vaporização não demonstraram o que era esperado. A aplicação de um processo térmico, como a vaporização, em arroz com conteúdo de amilose alto, levaria a um aumento do teor de amido resistente, que, por sua vez, conduziria a uma diminuição da digestibilidade do amido (51,64). O que se verificou foi que a amostra, que sofreu vaporização, adquiriu uma maior digestibilidade do amido e, por conseguinte, obteve um valor de índice glicémico maior. Pode-se deduzir que a vaporização, que foi aplicada a esta amostra, funcionou no sentido de aumentar a disponibilidade do amido para ser hidrolisado. Como se trata de um tratamento térmico, este poderá ter pré-gelatinizado o amido, ao ponto de o tornar mais facilmente digestível. Com isto também podemos inferir que se tem de averiguar os parâmetros do processo de vaporização para que este seja bem-sucedido no sentido de baixar o índice glicémico do arroz.

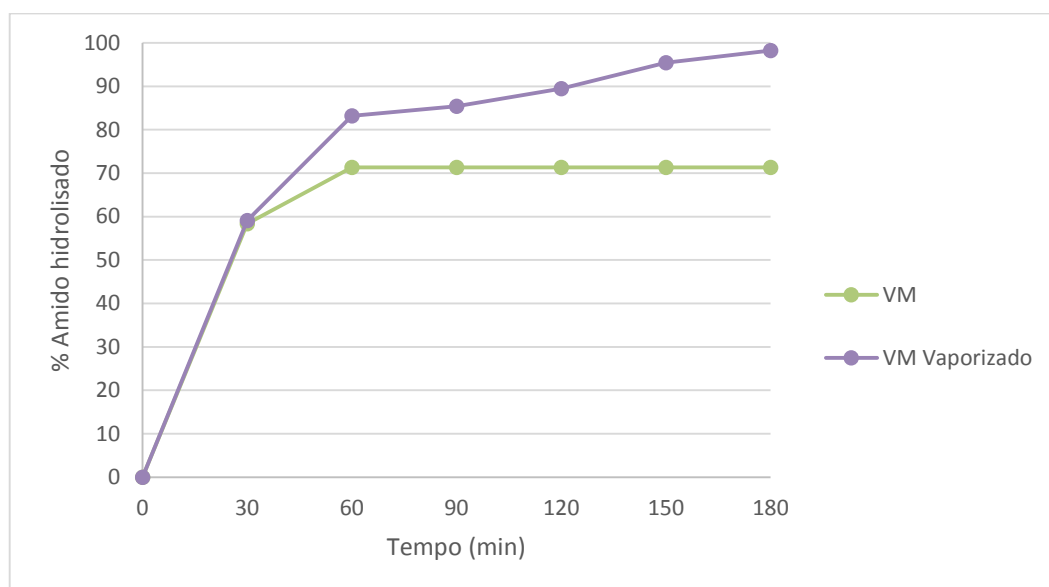


Gráfico 22 - Gráfico a demonstrar as diferenças entre o arroz vaporizado e não vaporizado.

4.5. Correlações entre os parâmetros analisados e o índice glicémico

Com a obtenção de todos os resultados, fez-se uma correlação entre todos, para averiguar quais eram os fatores que tinham influenciado mais os valores de índice glicémico. Estes fatores de correlação foram obtidos no programa *Excell*, usando a

extensão *xlstat* para tratamento estatístico. Para se fazer esta correlação, foram só usadas algumas das variedades, não por motivos de conveniência, mas porque alguns dos parâmetros foram determinados noutra trabalho, que decorreu em paralelo com este, e nesse trabalho não foram contempladas todas as amostras que foram analisadas neste. Portanto as correlações só foram feitas para as variedades que obtiveram valores para todas as determinações.

Foram obtidos fatores de correlação entre os parâmetros, tanto positivos, como negativos, que indicam se um parâmetro é influenciado positivamente, ou negativamente, por outro (Tabela 9). Tal como já se tinha visto na literatura (65,66), da análise dos fatores de correlação foi possível verificar que o índice glicémico se correlaciona negativamente com o conteúdo de amilose, isto é, que quanto maior for o teor de amilose, menor será o índice glicémico. Também é importante referir que para algumas variedades, com conteúdos semelhantes de amilose, foram obtidas digestibilidades diferentes. Isto pode indicar que outros fatores, como propriedades físico-químicas, tamanho dos grânulos e graus de cristalinidade afetam notoriamente a digestão do amido (63). A resposta glicémica baixa de variedades com alto conteúdo de amilose foi associada à formação de complexos entre amilose e lípidos, após o aquecimento, ficando menos disponíveis à atividade enzimática (67).

Das correlações feitas entre os parâmetros também foi possível correlacionar negativamente o índice glicémico com a Brancura Total e a Área Gessada. É sabido que estes dois parâmetros são inversamente proporcionais ao teor de amilose no arroz, ou seja, quanto menos amilose, menos translúcido é o grão (68). Esta correlação reforça mais uma vez a influência do teor de amilose no índice glicémico do arroz.

Outro pormenor que se verificou está relacionado com fator de correlação médio de entre o índice glicémico e a humidade e tempo de cozedura, de -0,371 e -0,381, respetivamente. Estes últimos dois parâmetros correlacionam-se positivamente indicando que, quanto maior a humidade, maior o tempo de cozedura. Por outro lado, por se correlacionarem negativamente com o índice glicémico, vem de encontro à situação descrita na variedade Ronaldo, na qual se postulou que o tempo de cozedura, por ser alto, estava a influenciar o índice glicémico.

Por fim, o parâmetro da absorção de água, por parte do grão, mostrou estar correlacionado positivamente com o índice glicémico. Portanto, quanto maior for a absorção de água por parte do grão maior será o índice glicémico. Tal é perfeitamente plausível, visto que a absorção de água é influenciada pela estrutura e composição do

grão, nomeadamente pela presença de amilose. Arroz com menos amilose tendem a ter maior absorção de água, visto que a estrutura da amilopectina é conhecida por promover a existência de espaços pouco compactos. Ao invés, arroz ricos em amilose têm estruturas cristalinas mais compactas e que não favorecem a absorção de água. Portanto, ao haver uma maior absorção de água, associada a um menor conteúdo em amilose, vamos ter o parâmetro de índice glicémico a estar positivamente correlacionado.

Tabela 9 - Tabela de Correlações entre os parâmetros avaliados.

Variáveis	BT	AG	Humidade	TC	AbA	Amilose	AT	IG
BT	1,000							
AG	0,982	1,000						
Humidade	0,640	0,618	1,000					
TC	0,580	0,439	0,473	1,000				
AbA	-0,266	-0,276	-0,074	-0,413	1,000			
Amilose	0,228	0,243	0,122	-0,052	-0,101	1,000		
AT	-0,259	-0,372	-0,111	0,491	-0,443	0,060	1,000	
IG	-0,661	-0,667	-0,371	-0,381	0,462	-0,759	-0,160	1,000

5. Conclusões

Neste estudo foram estudados os valores dos índices glicêmicos de algumas variedades de arroz e os fatores que os podem influenciar. Verificou-se que a variedade Carnise obteve a curva de hidrólise com valores mais baixos de amido hidrolisado e, por consequência, obteve o valor de índice glicêmico mais baixo. O índice glicêmico de grande parte das amostras utilizadas neste estudo posicionou-se abaixo da amostra de referência, que foi o Pão Branco Fresco, significando que existe um bom leque de amostras com potencial para estudos de arroz com baixo índice glicêmico.

Verificou-se que o arroz integral, que não sofreu a ação de branqueamento, não surtiu qualquer abaixamento do valor de índice glicêmico, visto que o método utilizado não contemplava a fase de absorção intestinal. No caso da presença de fibras, características do arroz integral, seria nesta fase que se faria notar a diminuição da resposta glicêmica por ação das fibras na absorção.

O teste efetuado para verificar o efeito da vaporização revelou diferenças entre arroz vaporizado e não vaporizado. O resultado não foi de encontro ao esperado, visto que não houve um decréscimo na curva de hidrólise, nem no valor de índice glicêmico, da amostra que sofreu o tratamento de vaporização. Deduziu-se portanto que este método de processamento térmico, funcionou no sentido de aumentar a disponibilidade do amido para ser hidrolisado. Este poderá ter pré-gelatinizado o amido, ao ponto de o tornar mais facilmente digestível. Com isto também surge uma oportunidade de investigação futura, para averiguar os parâmetros do processo de vaporização para que este seja bem-sucedido no sentido de baixar o índice glicêmico do arroz.

Das correlações calculadas para averiguar a influência dos outros parâmetros, no índice glicêmico, verificou-se que o índice glicêmico se correlaciona negativamente com o conteúdo de amilose. Para algumas variedades, com conteúdos semelhantes de amilose, foram obtidas digestibilidades diferentes, que nos indicou que outros fatores, como propriedades físico-químicas, tamanho dos grânulos e graus de cristalinidade afetam notoriamente a digestão do amido. A resposta glicêmica baixa de variedades com alto conteúdo de amilose pode estar associada à formação de complexos entre amilose e lípidos, após o aquecimento, ficando menos disponíveis à atividade enzimática.

Das correlações feitas entre os parâmetros também foi possível correlacionar negativamente o índice glicêmico com a Brancura Total e a Área Gessada reforçando mais uma vez a influência do teor de amilose no índice glicêmico do arroz.

Verificou-se também que o índice glicémico está correlacionado, negativamente, com a humidade e tempo de cozedura, vindo de encontro à situação descrita na variedade Ronaldo, na qual se postulou que o tempo de cozedura, por ser alto, estava a influenciar o índice glicémico.

A absorção de água, por parte do grão, mostrou estar correlacionada positivamente com o índice glicémico, graças a influência da estrutura e composição do amido em amilose.

Estudos futuros deveriam contemplar a influência dos parâmetros determinados neste trabalho, para possibilitar o desenvolvimento de arroz de baixo índice glicémico. Com os resultados obtidos há agora uma base de conhecimento dos índices glicémicos das variedades usadas na empresa NOVARROZ, e os futuros estudos podem ser conduzidos sobre as variedades que obtiveram valores mais baixos, na tentativa de os tentar reduzir. Também seria importante averiguar melhor as técnicas de processamento térmico do arroz, como a vaporização, que já se mostraram, em outros estudos, eficientes na redução da resposta glicémica do arroz.

6. Referências bibliográficas

1. Hossain P, Kavar B, El Nahas M. Obesity and diabetes in the developing world--a growing challenge. *N. Engl. J. Med.* 2007 Jan 18;356(3):213–5.
2. Klein S, Allison DB, Heymsfield SB, Kelley DE, Leibel RL, Nonas C, et al. Waist circumference and cardiometabolic risk: a consensus statement from shaping America's health: Association for weight management and obesity prevention; NAASO, the obesity society; the American society for nutrition; and the American diabetes associat. *Obesity (Silver Spring)*. 2007 May;15(5):1061–7.
3. Deepa G, Singh V, Naidu KA. A comparative study on starch digestibility, glycemic index and resistant starch of pigmented ('Njavara' and "Jyothi") and a non-pigmented ('IR 64') rice varieties. *J. Food Sci. Technol.* 2010 Dec;47(6):644–9.
4. Lehmann U, Robin F. Slowly digestible starch – its structure and health implications: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 2007 Jul;18(7):346–55.
5. Jenkins DJ, Vuksan V, Kendall CW, Würsch P, Jeffcoat R, Waring S, et al. Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycemic index. *J. Am. Coll. Nutr.* 1998 Dec;17(6):609–16.
6. Ludwig DS, Majzoub J a., Al-Zahrani A, Dallal GE, Blanco I, Roberts SB. High glycemic index foods, overeating, and obesity. *Pediatrics*. 1999 Mar 1;103(3):e26–e26.
7. Ludwig DS. Symposium : Dietary composition and obesity : Do we need to look beyond dietary fat ? Dietary glycemic index and obesity. *J. Nutr.* 2000;1992–5.
8. Björck I, Liljeberg H, Östman E. Low glycaemic-index foods. *Br. J. Nutr.* 2007 Mar 9;83(S1):149–55.
9. Foster-Powell K, Holt SH a, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.* 2002 Jul;76(1):5–56.
10. Frei M, Siddhuraju P, Becker K. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chem.* 2003 Nov;83(3):395–402.
11. Pongjanta J, Utaipattanaceep A, Naivikul O, Piyachomkwan K. In vitro starch hydrolysis rate, physico-chemical properties and sensory evaluation of butter cake prepared using resistant starch type III substituted for wheat flour. *Malays. J. Nutr.* 2008 Sep;14(2):199–208.
12. BeMiller JN. WR. *Starch: chemistry and technology*. Third Edit. Elsevier Science; 2009.
13. Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J. Cereal Sci.* 2004 Nov;40(3):231–7.

14. Chung H-J, Lim HS, Lim S-T. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *J. Cereal Sci.* [Internet]. 2006 May [cited 2013 Oct 29];43(3):353–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S073352100500144X>
15. Weurding RE, Veldman A, Veen W a, van der Aar PJ, Versteegen MW. In vitro starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *J. Nutr.* 2001 Sep;131(9):2336–42.
16. Goñi I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A Starch Hydrolysis Procedure to Estimate Glycemic Index. *Nutr. Res.* 1997;17(3).
17. Khush GS. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Mol. Biol.* 1997 Sep;35(1-2):25–34.
18. Uchino H, Tago A, Iwama K, Jitsuyama Y. Varietal differences in endosperm cell morphology of the non-glutinous rice (*Oryza sativa* L.) Released over the past 100 years in Hokkaido, Japan. 2011;14(April 2010).
19. Kang H-J, Hwang I-K, Kim K-S, Choi H-C. Comparison of the physicochemical properties and ultrastructure of japonica and indica rice grains. *J. Agric. Food Chem.* 2006 Jun 28;54(13):4833–8.
20. Kang H-J, Hwang I-K, Kim K-S, Choi H-C. Comparative structure and physicochemical properties of Ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, Suweon 464. *J. Agric. Food Chem.* 2003 Oct 22;51(22):6598–603.
21. Kim K-S, Kang H-J, Hwang I-K, Hwang H-G, Kim T-Y, Choi H-C. Comparative ultrastructure of Ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, Suweon 464: scanning and transmission electron microscopy studies. *J. Agric. Food Chem.* 2004 Jun 16;52(12):3876–83.
22. Zhao K, Wright M, Kimball J, Eizenga G, McClung A, Kovach M, et al. Genomic diversity and introgression in *O. sativa* reveal the impact of domestication and breeding on the rice genome. *PLoS One.* 2010 Jan;5(5):e10780.
23. Chang T, Bardenas E. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. 1965.
24. De Datta SK. Principles and practices of rice production. New York: Wiley; 1981.
25. Park B-D, Wi SG, Lee KH, Singh AP, Yoon T-H, Kim YS. Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical techniques. *Biomass and Bioenergy.* 2003 Sep;25(3):319–27.
26. Kang H-J, Hwang I-K, Kim K-S, Choi H-C. Comparative structure and physicochemical properties of Ilpumbyeo, a high-quality japonica rice, and its mutant, Suweon 464. *J. Agric. Food Chem.* 2003 Oct 22;51(22):6598–603.

27. Watson CA, Dikeman E. Structure of the rice grain by scanning electron microscopy.pdf. Cereal Chemistry; 1977.
28. Kasem S, Waters DLE, Rice NF, Shapter FM, Henry RJ. The endosperm morphology of rice and its wild relatives as observed by scanning electron microscopy. Rice. 2011 May 5;4(1):12–20.
29. Sittiya J, Yamauchi K, Morokuma M. Chemical composition, digestibility of crude fiber and gross energy, and metabolizable energy of whole paddy rice of Momiroman. J. Poult. Sci. 2011;48(4):259–61.
30. Muzafarov DC. MK. Chemical composition of husked and polished rice. Chemistry Nat. Compd. 1997;33(5):601–2.
31. Juliano BO. The chemical basis of rice grain quality. IRRI. 1979;
32. Rickman JF, Bell M, Engineering A. Rice fact sheet - Paddy drying systems. IRRI. 2004;(Mc):2004.
33. Englyst HN, Hudson GJ. The classification and measurement of dietary carbohydrates. Food Chem. 1996 Sep;57(1):15–21.
34. Oko a. O, Ubi BE, Efisue a. a., Dambaba N. Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria. Int. J. Agric. For. 2012 Apr 9;2(2):16–23.
35. Lam-Sánchez A, Dos Santos JE, Takamura K, Treptow RM, Dutra de Oliveira JE. Estudos nutricionais com arroz (*Oryza sativa*, L.). Aliment. e Nutr. Alimentos e Nutrição; 1993;
36. Ambreen N, Hanif NQ, Khatoon S. Chemical composition of rice polishing from different sources. Pak. Vet. J. 2006;26(4):190–2.
37. Kennedy G, Burlingame B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. Food Chem. 2003 Apr;80(4):589–96.
38. Bhaskarachary K, Ramulu P, Udayasekhararao P, Bapurao S, Kamala K, Syed Q, et al. Chemical composition, nutritional and toxicological evaluation of rice (*Oryza sativa*) grown in fly ash amended soils. J. Sci. Food Agric. 2012 Oct;92(13):2721–6.
39. Besler M. Composition of Rice: Distribution of Nutrients (in polished seeds). Internet Symp. Food Allergens. 2001;
40. Singh N, Kaur L. Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. J. Sci. Food Agric. 2004 Aug 15;84(10):1241–52.
41. Martin C, Smith A. Starch biosynthesis. Plant Cell. 1995;7(July):971–85.

42. Singletary GW, Banisadr R, Keeling PL. Influence of gene dosage on carbohydrate synthesis and enzymatic activities in endosperm of starch-deficient mutants of maize. *Plant Physiol.* 1997 Jan;113(1):293–304.
43. Wong K-S, Kubo A, Jane J, Harada K, Satoh H, Nakamura Y. Structures and properties of amylopectin and phytoglycogen in the endosperm of sugary-1 mutants of rice. *J. Cereal Sci.* 2003 Mar;37(2):139–49.
44. Rudi H, Uhlen AK, Harstad OM, Munck L. Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2006 Sep;130(1-2):55–65.
45. Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. *Cereal Chem.* 1990;67(6):558–63.
46. Delatte T, Trevisan M, Parker ML, Zeeman SC. Arabidopsis mutants Atisa1 and Atisa2 have identical phenotypes and lack the same multimeric isoamylase, which influences the branch point distribution of amylopectin during starch synthesis. *Plant J.* 2005 Mar;41(6):815–30.
47. Hasjim J, Li E, Dhital S. Milling of rice grains: The roles of starch structures in the solubility and swelling properties of rice flour. *Starch - Stärke.* 2012 May 16;n/a–n/a.
48. Dona AC, Pages G, Gilbert RG, Kuchel PW. Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. *Carbohydr. Polym.* Elsevier Ltd; 2010 May 5;80(3):599–617.
49. Sarikaya E, Higasa T, Adachi M, Mikami B. Comparison of degradation abilities of α - and β -amylases on raw starch granules. *Process Biochem.* 2000 Feb;35(7):711–5.
50. Ao Z, Simsek S, Zhang G, Venkatachalam M, Reuhs BL, Hamaker BR. Starch with a slow digestion property produced by altering its chain length, branch density, and crystalline structure. *J. Agric. Food Chem.* 2007 May 30;55(11):4540–7.
51. Eggum BO, Juliano BO, Perez CM, Acedo EF. The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. *J. Cereal Sci.* 1993;(18):159–70.
52. ISO. ISO CD 6647 - Rice — Determination of amylose content — Part 2: Routine method. International Standard Organization; 2011.
53. Organization IS. Rice - Evaluation of gelatinization time of kernels during cooking. ISO 148641998(E). 1998. p. 1–5.
54. Sérgio AM, Delgadillo I, Lemos D. Potencialidades da espectroscopia NIR para análise de arroz comercial. Universidade de Aveiro; 2013.

55. Agency ES. Cereals and cereal products - Determination of moisture content - Routine reference method. ES ISO 7122001. 2001. p. 1–5.
56. Thomas R, Wan-Nadiah W, Bhat R. Physiochemical properties, proximate composition, and cooking qualities of locally grown and imported rice varieties marketed in Penang, Malaysia. *Int. Food Res.* 2013;3:1345–51.
57. McCance RA, Widdowson EM. The composition of foods. 2.1 - Cereals and cereal products. 1998. p. 29–81.
58. Abede AA, Ayoko GA, Singh K. Chemical composition and nutritive value of retail white bread in Zaria , Nigeria. *Food chemistry.* 1992;45(January 1980):323–6.
59. Koutroubas S., Mazzini F, Pons B, Ntanos D. Grain quality variation and relationships with morpho-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe. *F. Crop. Res.* 2004 Mar;86(2-3):115–30.
60. Vidal ÄR, Ons BRP, Runnschweiler JUB, Andschin STH, Ouau XAR, Estres CHM, et al. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties. *J. Agric. Food Chem.* [Internet]. 2007 Jan 24;55(2):336–46. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17227063>
61. Jain A, Rao S, Sethi S. Effect of cooking on amylose content of rice. *Eur. J. Exp. Biol.* 2012;2(2):385–8.
62. Adachi S, Ueda Y, Hashimoto K. Kinetics of formation of maltose and isomaltose through condensation of glucose by glucoamylase. *Biotechnol. bioengineering.* 1984;26:121–7.
63. Panlasigui L, Juliano B, Suk Y, Perez M, Thompson L, Greenberg G. Rice varieties with similar amylose digestibility and glycemic response content differ in starch in humans13. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991;
64. Kulkarni PR, Singhal RS, Sajilata MG. Resistant starch. 2006;5(Figure 2).
65. Miller JB, Pang E, Bramall L. Rice : a high or low glycemic food ? *Am. J. Clin. Nutr.* 1992;56:1034–6.
66. Goddard S. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice13. 1984;(March):388–92.
67. Guraya HS, Kadan RS, Champagne ET. Effect of rice starch-lipid complexes on in vitro digestibility , complexing index , and viscosity. 1997;
68. Delwiche SR, Mckenzie KS, Webb BD. Quality characteristics in rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chem.* 1996;73(2):257–63.

7. Anexos

Tabela 10 - Concentrações dos padrões de amilose de arroz.

Padrão	Valores da reta de calibração
Waxy	0
Ronaldo Azambuja	12,1
Ulisses azambuja	14,1
Ariete mondego	14,25
Gladio salvaterra	22,8

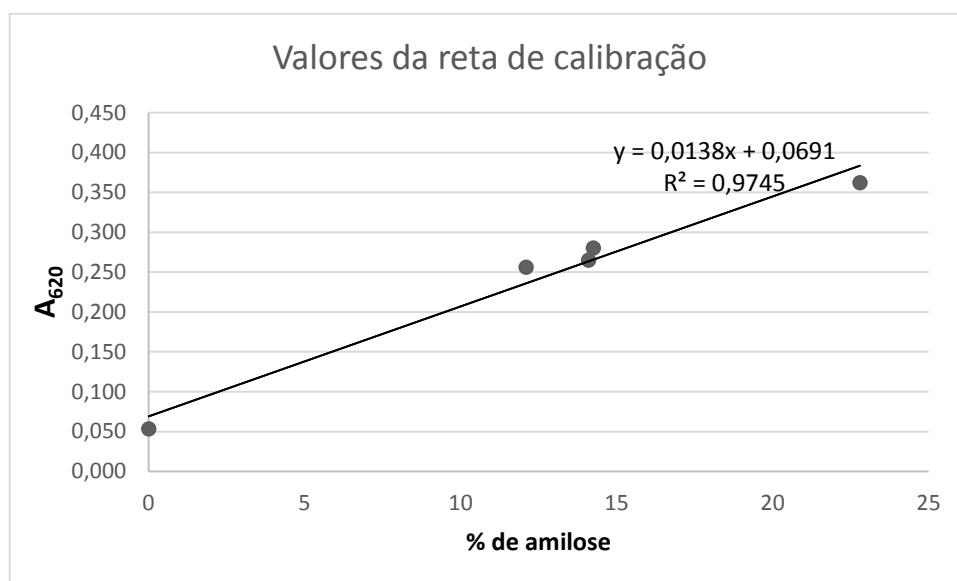


Gráfico 23 - Primeira reta de calibração de amilose de arroz.

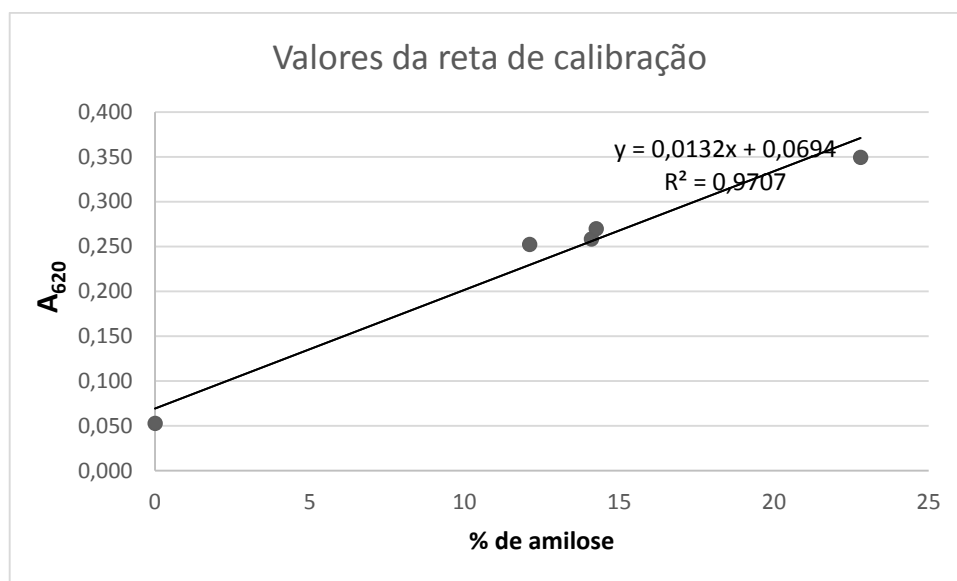


Gráfico 24 - Segunda reta de calibração de amilose de arroz.

Tabela 11 - Tabela com valores dos parâmetros de Brancura Total e Área Gessada.

Tipo de Grão	VARIEDADE	Grau de brancura	Área gessada média (%)
		Total (%)	
Agulha	Basmati	134,79	22,69
Agulha	Gládio	140,55	25,29
Agulha	Glutinoso	180,71	80,18
Agulha	Olimar	131,72	15,52
Agulha	Suriname	131,11	12,9
Agulha	Thai Hom-Mali	129,3	11,01
Carolino	Ariete	134,21	17,74
Carolino	Ronaldo	151,23	44,33
Médio	Guadamar	132,31	16,4
Risoto	Carnise	152,92	55,57

Tabela 12 - Tabela com valores dos parâmetros de % de Humidade e de Tempo de Cozedura.

Tipo de Grão	VARIEDADE	% Humidade		Tempo de cozedura (min)	Desv.Pad.
		Média	Desv.Pad.		
Agulha	Basmati	13,87	0,10	13,999	1,555
Agulha	Gládio	13,83	0,07	20,140	0,816
Agulha	Glutinoso	12,75	0,04	12,960	0,866
Agulha	Olimar	13,90	0,01	16,010	1,080
Agulha	Suriname	13,51	0,04	20,150	0,677
Agulha	Thai Hom-Mali	13,18	0,01	15,270	0,612
Carolino	Ariete	14,25	0,07	18,170	0,577
Carolino	Ronaldo	14,46	0,01	26,440	0,764
Médio	Guadamar	14,28	0,05	17,010	0,707
Risoto	Carnise	14,10	0,04	17,460	0,540

Tabela 13 - Tabela com valores do parâmetro da Absorção de Água.

Tipo de Grão	VARIEDADE	% Absorção de água	
		Média de ensaios	Desv.Pad. Ponderado
Agulha	Basmati	73,67	0,61
Agulha	Gládio	71,60	1,00
Agulha	Glutinoso	-	-
Agulha	Olimar	70,79	0,50
Agulha	Suriname	66,67	0,52
Agulha	Thai Hom-Mali	70,71	0,53
Carolino	Ariete	67,39	0,78
Carolino	Ronaldo	69,34	0,56
Médio	Guadamar	69,48	0,73
Risoto	Carnise	67,50	0,70

Tabela 14 - Tabela com os valores referentes às curvas de hidrólise de todas as variedades.

Amostras	0	30	60	90	120	150	180	h*	RSC**	AUC	IH	IG
Olimar	0	33,324	45,714	45,714	45,714	45,714	46,782	30	728,6447	7286,447	102,3	95,9
Basmati	0	28,779	37,525	42,604	42,604	47,682	50,504	30	687,018	6870,18	96,4	92,6
Gládio	0	24,955	35,272	37,672	38,632	38,632	38,632	30	591,4724	5914,724	83,0	85,3
Carnise	0	23,912	24,239	25,877	25,877	25,877	25,877	30	428,7694	4287,694	60,2	72,7
Ariete	0	81,020	85,631	85,631	85,631	86,619	86,619	30	1442,225	14422,25	202,4	150,8
Glutinoso	0	81,885	82,415	82,415	82,415	82,415	82,415	30	1398,94	13989,4	196,4	147,5
Coplantio	0	29,352	34,871	35,874	35,874	36,878	39,387	30	589,2928	5892,928	82,7	85,1
Coplantio Integral	0	28,930	41,919	42,805	49,594	49,594	57,270	30	725,6136	7256,136	101,8	95,6
Guadamar	0	46,781	46,781	46,781	46,781	46,781	46,781	30	795,277	7952,77	111,6	101,0
Suriname	0	19,677	35,014	35,014	35,014	35,014	42,538	30	541,4201	5414,201	76,0	81,4
Thai Hom-Mali	0	54,258	54,258	54,258	54,258	60,177	68,069	30	959,8781	9598,781	134,7	113,7
Ronaldo	0	29,798	29,798	29,798	46,615	46,615	57,826	30	635,5002	6355,002	89,2	88,7
Pusa Vaporizado	0	29,637	36,924	42,512	42,512	49,313	54,415	30	699,1338	6991,338	98,1	93,6
Low GI	0	42,812	50,501	50,501	61,335	61,335	61,335	30	903,6008	9036,008	126,8	109,3
VM	0	58,329	71,349	71,349	71,349	71,349	71,349	30	1160,861	11608,61	162,9	129,2
VM Vaporizado	0	59,119	83,204	85,393	89,460	95,403	98,218	30	1403,205	14032,05	197,0	147,8
Pão Fresco	0	23,628	25,809	37,804	48,709	62,523	67,612	30	712,466	7124,66	100,0	100,0

* $h = (180-0)/n$, $n = n^\circ$ de intervalos; ** Regra de Simpson Composta, para integração numérica.